



SKRIPSI – ME141501

**ANALISA PERFORMA MOTOR ASINKRON 3 FASA ROTOR BELIT
FEEDBACK TIPE NO. 243 DI LABORATORIUM LISRIK DAN OTOMASI
KAPAL**

Achmad Suherman
NRP. 4213 100 052

Dosen Pembimbing
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS – ME141501

***PERFORMANCE ANALISYS THREE PHASE ASYNCHRONOUS SLIP RING
MOTOR FEEDBACK TYPE NO. 243 AT MARINE ELECTRICAL AND
AUTOMATION SYSTEM***

Achmad Suherman
NRP. 4213 100 052

Supervisor
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

*DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PERFORMA MOTOR ASINKRON 3 FASA ROTOR BELIT FEEDBACK TIPE NO. 243 DI LABORATORIUM LISRIK DAN OTOMASI KAPAL

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada**

**Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

Achmad Suherman

NRP. 4213 100 052

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

**Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
NIP. 196003191987011001**

(.....)

**SURABAYA
JULI 2017**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PERFORMA MOTOR ASINKRON 3 FASA ROTOR BELIT FEEDBACK TIPE NO. 243 DI LABORATORIUM LISRIK DAN OTOMASI KAPAL

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Achmad Suherman

NRP. 4213 100 052

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :




Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 197708022008011007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISA PERFORMA MOTOR ASINKRON 3 FASA ROTOR BELIT FEEDBACK TIPE NO. 243

Nama Mahasiswa : Achmad Suherman
NRP. : 4213 100 052
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

ABSTRAK

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan. Ada dua jenis rotor pada motor asinkron 3 fasa yaitu rotor sangkar tupai dan rotor belit. Tiap jenis motor memiliki karakter yang berbeda-beda, hal ini akan mempengaruhi penggunaan motor tersebut. Pada tugas akhir ini, penelitian dilakukan untuk mengetahui performa motor asinkron 3 fasa rotor belit pada kondisi tanpa beban dan berbeban. Pada percobaan tanpa beban dan berbeban dilakukan variasi hambatan mulai dari 25Ω – 0Ω . Hasilnya motor asinkron 3 fasa rotor belit pada kondisi tanpa beban memiliki daya output maksimum 58 W dan torsi maksimum 0,22 Nm pada hambatan 25Ω . Sedangkan pada kondisi berbeban memiliki Pin maksimum 131,5 W, Pout maksimum 109,31 W, Torsi maksimum 2,08 Nm, Efisiensi maksimum 95%. Analisa dilakukan dengan cara mencari hubungan antara torsi vs putaran dan efisiensi vs pembebanan. Didapatkan hasil berupa semakin besar kecepatan motor maka torsi motor akan semakin kecil sesuai dengan rumus torsi, dan terlihat bahwa semakin besar beban, efisiensi cenderung naik. Aplikasi motor ini cocok untuk perubahan beban dan perubahan kecepatan secara mendadak pada motor. Sehingga aplikasinya cocok digunakan pada elevator, crane, ekstraktor, ball and sag mills, cranes, hoists, pumps, fans and blowers, chippers, conveyors.

Kata kunci : Motor Asinkron 3 Fasa, Performa, Rotor Belit

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALYSIS OF THREE PHASES ASYNCHRONOUS SLIP RING MOTOR PERFORMANCE FEEDBACK TYPE NO. 243

Name : Achmad Suherman
NRP. : 4213 100 052
Department : Marine Engineering
Supervisor : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

ABSTRACT

Induction motor is an Alternating Current Electric Motor (AC), this motor most widely used. There are two types of rotor on 3 phases asynchronous motor, the squirrel-cage rotor and the slipring rotor. Every motor has its own characteristic, it will affect the used of the motor. In this bachelor theses, the research is aiming to know 3 phases asynchronous slipring motor performance on unloaded and loaded condition. On its condition, the variation resistance starting from 25Ω - 0Ω . The results of 3 phases asynchronous slipring motor on unloaded condition having maximum output power 58 W and torque maximum 2,08 Nm in 25Ω of resistance. While in the condition loaded having a maximum P_{in} 131,5 W, maximum P_{out} 109,31 W, maximum torque 0.26 Nm and maximum efficiency 95%. The analysis was done by knowing the relation between torque vs speed and efficiency vs load. The result shows that the increasing of motor speed will give affect the decreasing of motor torque in according with the torque formula. In the other result, it can be seen that increasing of the load, efficiency will increase. Application motor is suitable for sudden load changing and sudden speed changing on motor. Therefore, this application will be suitable for elevator, crane, ekstraktor, ball and sag mills, cranes, hoists, pumps, fans and blowers, chippers and conveyors.

Keywords : Asynchronous Motor, Performance, Slip Ring Rotor

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisa Performa Motor Asinkron 3 Phase Rotor Belit Feedback Tipe No.243 di laboratorium Listrik dan Otomasi Kapal”.

Penulisan tugas akhir ini disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam menyelesaikan skripsi ini berdasarkan kepada dasar teori yang diperoleh dalam perkuliahan studi literature dan dosen pembimbing yang terus memberikan masukan serta pihak – pihak lain yang terlibat. Banyak pihak yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Maka pada kesempatan kali penulis mengucapkan terima kasih sebesar – besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang senantiasa yang senantiasa memberikan dukungan moral dan materil kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Dr.Eng M. Badruz Zaman, S.T, M.T sebagai kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak Ir. Sardono Sarwito M.Sc selaku dosen pembimbing yang terus memberikan saran dan masukan kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Teman-teman member Laboratorium Listrik dan Otomasi Kapal yang telah banyak membantu untuk memberikan saran dan masukan guna penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam melakukan penulisan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kelancaran dan perbaikan dalam pengerjaan tugas akhir kedepannya.

Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan penulis pada khususnya.

Surabaya, 25 Juli 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GRAFIK.....	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	4
Manfaat yang di dapatkan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:.....	4
1.....Dapat di gunakan sebagai acuan dalam pemilihan jenis motor asinkron yang akan digunakan sesuai dengan kebutuhan di kapal.....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa.....	6
2.2 Konstruksi Motor Induksi.....	8
2.2.1 Rotor.....	13
2.2.2 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar.....	13
2.2.3 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan / Lilit / Slipring.....	17
2.3 Beda Motor Induksi Rotor Sangkar Dengan Rotor Lilit.....	20
2.4 Slip.....	21
2.5 Efisiensi Motor Listrik.....	22
2.6 Mengukur Kecepatan Putaran.....	26
2.7 Mengukur Torsi Motor Listrik.....	27
2.8 Karakteristik Motor Induksi.....	27
2.9 Pembebanan Pada Motor Induksi.....	29
2.10 Hubungan Kecepatan Dengan Torsi.....	32
2.11 Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Phase.....	33
2.11.1 Mengubah Jumlah Kutub (Pole Changing Motor).....	33

2.11.2 Pengaturan Frekuensi Sumber (line Frequency Control).....	34
2.11.3 Mengatur Tegangan Sumber (Line Voltage Control).....	34
2.11.4 Pengaturan Tahanan Luar.....	35
2.12 Pengasutan Motor Slipring.....	35
2.13 Motor DC dan AC Sebagai Penggerak Kapal.....	40
2.14 Aplikasi Motor Listrik AC dan DC di Kapal.....	41
2.15 Hal-Hal Yang Penting Mengenai Motor Slip Ring.....	42
2.16 Beban Motor Induksi Tiga Fasa.....	44
2.17 Pengereman Pada Motor Listrik.....	44
2.17.1 Pengereman Dinamik.....	44
2.17.2 Pengereman Secara Plugging.....	45
2.17.3 Pengereman Elektromekanis.....	46
2.17.4 Pengereman Beban Listrik.....	46
2.18 Fitur Teknis SRM (Slip Ring Motor) dan SCM (Squirrel Cage Motor).....	46
2.19 Operasi Efisiensi wound rotor.....	47
BAB III.....	49
METODELOGI.....	49
3.1 Tempat Pengujian.....	49
3.2 Studi Literatur.....	49
3.3 Menyusun dan Menentukan Perangkat.....	51
3.3.1 Variabel yang diamati.....	57
3.3.2 Tahapan Pengujian.....	58
3.3.3 Pengambilan Data.....	60
3.3.4 Perhitungan Data dan Analisa Data.....	61
3.3.5 Final Analisis.....	61
3.3.6 Kesimpulan dan Saran.....	61
BAB IV.....	65
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	65
4.1 Standarisasi IEEE stds 43.....	66
4.2 Data Hasil Percobaan.....	67
4.2.1 Tahanan Isolasi.....	68
4.2.2 Percobaan Tanpa Beban.....	69
4.2.3 Percobaan Berbeban.....	74
4.3 Perhitungan Data.....	80

4.3.1	Tanpa Beban.....	80
4.3.2	Percobaan Berbeban.....	91
4.4	Analisa Grafik.....	95
4.4.1	Motor Tanpa Beban.....	95
4.4.2	Motor Berbeban.....	102
4.5	Aplikasi Penggunaan Motor Asinkron 3 Fasa Rotor Belit.....	117
BAB V.....		121
KESIMPULAN.....		121
5.1	Kesimpulan.....	121
DAFTAR PUSTAKA.....		123
LAMPIRAN A.....		125
LAMPIRAN B.....		136
BIODATA PENULIS.....		137

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBA

Gambar 1. 1 Pengklasifikasian Motor Listrik.....	2Y
Gambar 2. 1 Motor Asinkron 3 Phase Rotor Belit Feedback.....	5
Gambar 2. 2 Penampang rotor dan stator motor induksi memperlihatkan medan magnet dalam celah udara.....	6
Gambar 2. 3 a. Stator dan rotor sangkar b. Rotor belitan.....	9
Gambar 2. 4 a. Bentuk rotor sangkar b. Kumparan dikeluarkan dari rotor.....	10
Gambar 2. 5 Gambar sederhana bentuk alur / slot pada motor induksi.....	11
Gambar 2. 6 Gambar sederhana motor induksi dengan satu kumparan stator dan satu kumparan rotor.....	12
Gambar 2. 7 Tipikal rotor sangkar.....	14
Gambar 2. 8 Bagian-bagian rotor sangkar.....	14
Gambar 2. 9 Konstruksi motor induksi rotor sangkar skala kecil.....	15
Gambar 2. 10 Konstruksi motor induksi rotor sangkar skala besar.....	16
Gambar 2. 11 Skema diagram motor induksi rotor belit.....	18
Gambar 2. 12 Rotor belitan.....	19
Gambar 2. 13 Konstruksi motor induksi tiga fasa rotor belitan.....	19
Gambar 2. 14 Kehilangan Motor.....	23
Gambar 2. 15 Efisiensi Motor Beban Sebagian (sebagai fungsi dari % efisiensi beban penuh).....	25
Gambar 2. 16 Pengukuran poros dengan tachometer.....	26
Gambar 2. 17 Rangkaian ekivalen motor induksi 3 fasa perfasa.....	31
Gambar 2. 18 Kurva kecepatan terhadap torsi.....	33
Gambar 2. 19 Karakteristik pengaturan tegangan.....	35
Gambar 2. 20 Bentuk fisik motor induksi rotor slipring.....	36
Gambar 2. 21 Belitan stator dan rotor motor slipring berikut resistor pada rangkaian rotor.....	37
Gambar 2. 22 karakteristik torsi motor slipring.....	38
Gambar 2. 23 Pengawatan motor slipring dengan tiga tahapan resistor.....	38
Gambar 2. 24 Karakteristik torsi dengan tiga tahapan.....	40
Gambar 2. 25 Torque versus speed SRM and SCM.....	47
Gambar 2. 26 Grafik Efisiensi motor induksi wound-rotor	4

Gambar 3. 1 Motor asinkron 3 phase rotor belit Feed back tipe no.243 (Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS).....	51
Gambar 3. 3 Three phase motor starter 65 - 150.....	51
Gambar 3. 4 Single & three phase measurements 68 – 100.....	52
Gambar 3. 5 Three phase supply control 60-100.....	52
Gambar 3. 6 Kabel.....	53
Gambar 3. 7 Variable Resistance 200 Ohm 2.5 A 67-11.....	53
Gambar 3. 8 Variable ac/dc Supply 5A 60-121.....	54
Gambar 3. 9 Tachometer.....	54
Gambar 3. 10 Torque / Speed Display ETL 174P.....	55
Gambar 3. 11 Multimeter Digital.....	55
Gambar 3. 12 Megger Tester.....	56
Gambar 3. 13 Digital Multimeter SANWA CD800a.....	56

Gambar 3. 14 Rangkaian Percobaan Tanpa Beban.....	58
Gambar 3. 15 Rangkaian Percobaan Berbeban.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis Kehilangan pada Motor Induksi (BEE India, 2004).....	24Y
Tabel 4. 1 IEEE 43, Guidelines for dc voltages to be applied during insulation resistance test.....	66
Tabel 4. 2 IEEE 43, Recommended minimum insulation resistance value at 40°.....	67
Tabel 4. 3 Hasil tahanan isolasi.....	68
Tabel 4. 4 Data Percobaan Tanpa beban hambatan 25-21Ω.....	69
Tabel 4. 5 Data Percobaan Tanpa beban hambatan 20-16Ω.....	70
Tabel 4. 6 Data Percobaan Tanpa beban hambatan 15-11Ω.....	71
Tabel 4. 7 Data Percobaan Tanpa beban hambatan 10-6Ω.....	72
Tabel 4. 8 Data Percobaan Tanpa beban hambatan 5-0Ω.....	73
Tabel 4. 9 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 25Ω.....	74
Tabel 4. 10 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 25Ω.....	75
Tabel 4. 11 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 20Ω.....	75
Tabel 4. 12 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 20Ω.....	76
Tabel 4. 13 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 15Ω.....	76
Tabel 4. 14 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 15Ω.....	77
Tabel 4. 15 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 10Ω.....	77
Tabel 4. 16 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 10Ω.....	78
Tabel 4. 17 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 5Ω.....	78
Tabel 4. 18 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 5Ω.....	79
Tabel 4. 19 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 0Ω.....	79
Tabel 4. 20 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 0Ω.....	80
Tabel 4. 21 Hasil Analisa Percobaan Tanpa Beban Pada Hambatan 25Ω - 21Ω.....	82
Tabel 4. 22 Hasil Analisa Percobaan Tanpa Beban Pada Hambatan 20Ω - 16Ω.....	84
Tabel 4. 23 Hasil Analisa Percobaan Tanpa Beban Pada Hambatan 15Ω - 11Ω.....	86
Tabel 4. 24 Hasil Analisa Percobaan Tanpa Beban Pada Hambatan 10Ω - 6Ω.....	88
Tabel 4. 25 Hasil Analisa Percobaan Tanpa Beban Pada Hambatan 5Ω - 0Ω.....	90
Tabel 4. 26 Hasil Analisa Slip Loss Percobaan Pada Hambatan 25Ω.....	94

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Hubungan antara Torsi dengan Putaran pada hambatan 25Ω - 21Ω	96
Grafik 4. 2 Hubungan antara Torsi dengan Putaran pada hambatan 20Ω - 16Ω	97
Grafik 4. 3 Hubungan antara Torsi dengan Putaran pada hambatan 15Ω - 11Ω	98
Grafik 4. 4 Hubungan antara Torsi dengan Putaran pada hambatan 10Ω - 6Ω	99
Grafik 4. 5 Hubungan antara Torsi dengan Putaran pada hambatan 5Ω - 0Ω	100
Grafik 4. 6 Hubungan antara Torsi dengan Putaran pada hambatan 25Ω - 0Ω	101
Grafik 4. 7 Hubungan putaran dengan torsi hambatan 25Ω	102
Grafik 4. 8 Torque versus speed SRM and SCM.....	103
Grafik 4. 9 Hubungan putaran dengan torsi hambatan 20Ω	104
Grafik 4. 10 Hubungan putaran dengan torsi hambatan 15Ω	105
Grafik 4. 11 Hubungan putaran dengan torsi hambatan 10Ω	106
Grafik 4. 12 Hubungan putaran dengan torsi hambatan 5Ω	107
Grafik 4. 13 Hubungan putaran dengan torsi hambatan 0Ω	108
Grafik 4. 14 Hubungan efisiensi dengan beban hambatan 25Ω	109
Grafik 4. 15 Grafik Efisiensi motor induksi wound-rotor.....	110
Grafik 4. 16 Hubungan efisiensi dengan beban pada hambatan 20Ω	111
Grafik 4. 17 Hubungan efisiensi dengan beban pada hambatan 15Ω	112
Grafik 4. 18 Hubungan efisiensi dengan beban pada hambatan 10Ω	113
Grafik 4. 19 Hubungan efisiensi dengan beban hambatan 5Ω	114
Grafik 4. 20 Hubungan efisiensi dengan beban hambatan 0Ω	115
Grafik 4. 21 hubungan slip loss dengan beban.....	116
Grafik 4. 22 Karakteristik Torsi Kecepatan Motor Induksi Berbagai Desain.....	117
Grafik 4. 23 Motor and VSD Efficiency as a Function of Percent of Motor Nameplate Load (Source: "Pumping Energy and Variable Frequency Drives", Bernier and Bourret, ASHRAE Journal, December 1999).....	119
Grafik 4. 24 Hubungan efisiensi dengan beban pada hambatan 25Ω	120

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

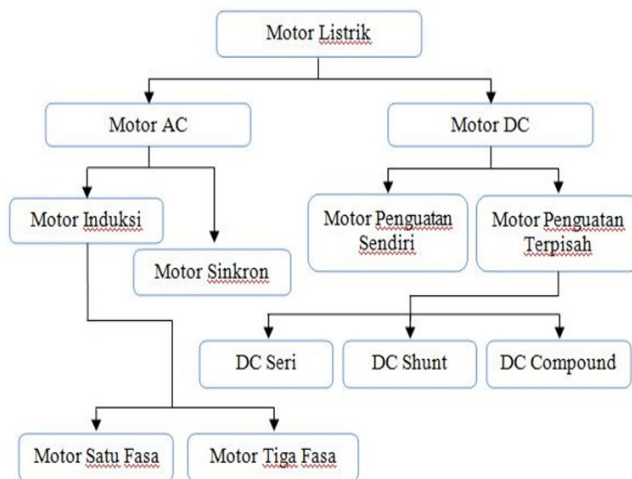
BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke statornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator. Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Hal ini disebabkan karena motor induksi memiliki berbagai keunggulan dibanding dengan motor listrik yang lain, yaitu diantaranya karena harganya yang relatif murah, konstruksinya yang sederhana dan kuat serta karakteristik kerja yang baik.

Motor induksi tiga fasa merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan pada perindustrian, motor inilah yang akan digunakan untuk memutar beban yang ada di perindustrian. Motor induksi tiga fasa yang mempunyai efisiensi tinggi biasanya memiliki tahanan rotor yang kecil. Akibatnya motor ini akan menghasilkan torsi awal yang kecil dan menarik arus awal yang besar. Namun terkadang batangan yang rusak pada cangkang rotor dapat menyebabkan belitan motor yang tidak seimbang, yang memberikan pengaruh terhadap torsi dan putarannya. Motor dengan rotor sangkar disebut motor induksi rotor sangkar sedangkan motor induksi rotor lilit dikenal dengan sebutan motor induksi slipring.

Pada laboratorium Marine Electrical and Automation System terdapat motor asinkron 3 phase rotor belit dari pabrikan feedback yang berasal dari Inggris yang sudah lama tidak digunakan. Mengingat hal itu maka di rasa perlu untuk mengetahui performa dari motor feedback tersebut melalui metode pengambilan data praktikum yang harapannya analisa performa dari jenis motor asinkron 3 phase rotor belit tersebut dapat di gunakan sebagai dasaran pemilihan jenis motor asinkron 3 phase yang paling efisien dalam penggunaan tertentu.



Gambar 1. 1 Pengklasifikasian Motor Listrik

1.2 Perumusan Masalah

Adapun dari latar belakang yang telah di paparkan sebelumnya maka perumusan masalah yang akan di buat adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah hubungan antara kecepatan dengan torsi motor pada saat berbeban?
2. Bagaimanakah karakter efisiensi terhadap pembebanan motor ?
3. Bagaimana penggunaan motor asinkron 3 fasa rotor belit pada kapal?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Analisa karakter motor asinkron yang dilakukan hanya pada Motor Asinkron 3 Phase Rotor Belit LN.243
2. Pembebanan dilakukan dengan cara mengkopel Motor Asinkron Rotor Belit dengan dynamometer

1.4 Tujuan

Penelitian pada tugas akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik torsi terhadap putaran yang di dihasilkan oleh Motor Asinkron 3 Phase Rotor Belit Feedback LN.243 pada saat kondisi berbeban.
2. Mengetahui hubungan antara pembebanan dengan efisiensi motor.
3. Mengetahui aplikasi di kapal.

1.5 Manfaat

Manfaat yang di dapatkan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat di gunakan sebagai acuan dalam pemilihan jenis motor asinkron yang akan digunakan sesuai dengan kebutuhan di kapal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Mesin-mesin listrik digunakan untuk mengubah suatu bentuk energi ke energi yang lain, misalnya mesin yang mengubah energi mekanis ke energi listrik disebut generator, dan sebaliknya energi listrik menjadi energi mekanis disebut motor. Masing-masing mesin mempunyai bagian yang diam dan bagian yang bergerak. Bagian yang bergerak dan diam terdiri dari inti besi, dipisahkan oleh celah udara dan membentuk rangkaian magnetic dimana fluksi dihasilkan oleh aliran arus melalui kumparan/belitan yang terletak didalam kedua bagian tersebut. Pada umumnya mesin-mesin penggerak yang digunakan di Industri mempunyai daya keluaran lebih besar dari 1 HP dan menggunakan motor Induksi 3 Phase. Kali ini kita akan menganalisa performa dari motor asinkron 3 phase rotor belit.

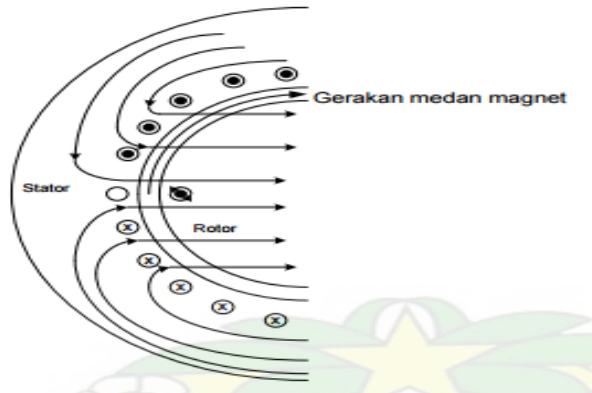


Gambar 2. 1 Motor Asinkron 3 Phase Rotor Belit Feedback
(Sumber : foto dari Laboratorium MEAS)

2.1 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa

Dalam motor induksi, tidak ada hubungan listrik ke rotor, arus rotor merupakan arus induksi. Tetapi ada kondisi yang sama seperti motor dc, yaitu konduktor rotor mengalirkan arus dalam medan magnetik sehingga terjadi gaya padanya yang berusaha menggerakkannya dalam arah tegak lurus medan. Jika lilitan stator diberi energi dari catu tiga fasa, dibangkitkan medan magnetik putar yang berputar pada kecepatan sinkron. Ketika medan melewati konduktor rotor, dalam konduktor ini diinduksikan ggl yang sama seperti ggl yang diinduksikan dalam lilitan sekunder transformator oleh fluks arus primer. Rangkaian rotor adalah lengkap, baik melalui cincin-ujung atau tahanan luar, ggl induksi menyebabkan arus mengalir dalam konduktor rotor. Jadi konduktor rotor yang mengalirkan arus dalam medan stator mempunyai gaya yang bekerja padanya.

Pada gambar di bawah ini menggambarkan penampang stator dan rotor motor induksi, dengan medan magnet diumpamakan berputar searah jarum jam dan dengan statornya diam seperti pada saat start.



Gambar 2. 2 Penampang rotor dan stator motor induksi memperlihatkan medan magnet dalam celah udara.

(Sumber : Eugene C Lister,1993)

Untuk arah fluks dan gerak yang di tunjukkan penggunaan aturan tangan kanan fleming menunjukkan bahwa arah arus induksi dalam konduktor rotor menuju pembaca. Pada kondisi seperti itu, dengan konduktor pengalir arus berada dalam medan magnet seperti yang di tunjukkan, gaya pada konduktor mengarah ke atas karena medan magnet di bawah konduktor lebih kuat daripada medan di atasnya. Agar sederhana hanya satu konduktor yang di perlihatkan. Tetapi, konduktor-konduktor rotor yang berdekatan lainnya dalam medan stator juga mengalirkan arus dalam arah seperti pada konduktor yang ditunjukkan, dan juga mempunyai suatu gaya ke arah atas yang di kerahkan pada mereka. Pada 8 setengah siklus berikutnya, arah medan stator akan dibalik, tetapi arus rotor juga akan dibalik, sehingga gaya pada rotor tetap ke atas. demikian pula kondktor rotor di bawah kutub-kutub medan stator lain akan mempunyai gaya yang semuanya cenderung memutar rotor searah jarum jam. Jika kopel yang dihasilkan cukup besar untuk mengatasi kopel beban yang menahan, motor akan melakukan percepatan searah jarum jam atau dalam arah yang sama dengan perputaran medan magnet stator.

Menurut Muhammad Sarjan (Jurnal Foristek, maret 2011) bahwa terdapat 4 prinsip dasar yang menjelaskan bagaimana medan magnet dimanfaatkan dalam mesin-mesin listrik, baik untuk transformator, generator maupun motor listrik yaitu:

1. Suatu konduktor yang beraliran listrik akan membangkitkan medan magnet disekitar penghantar tersebut, yang arahnya ditentukan menurut hukum Ampere.
2. Medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu, jika melalui kawat belitan tersebut. Hal ini sesuai dengan hukum faraday dan menjai prinsip dasar transformator.

3. Suatu konduktor beraliran listrik yang berada di dalam medan magnet akan mengalami suatu gaya. Hal ini dijelaskan oleh Lorentz dan menjadi prinsip dasar motor listrik.
4. Suatu kawat belitan yang bergerak memotong garis gaya magnet, akan menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) induksi pada kawat belitan tersebut. Demikian pula jika suatu garis gaya magnet bergerak memotong 9 kawat belitan akan menginduksi gaya gerak listrik (ggl) pada kawat belitan tersebut. Hal ini dijelaskan oleh hukum Faraday dan menjadi prinsip dasar generator listrik.

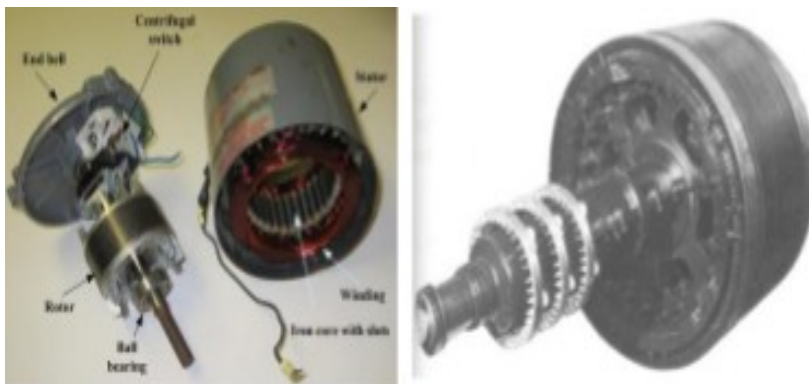
Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi 3-fasa yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3-fasa, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul emf (ggl) atau tegangan induksi. Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor.

Penghantar (kumparan) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator.

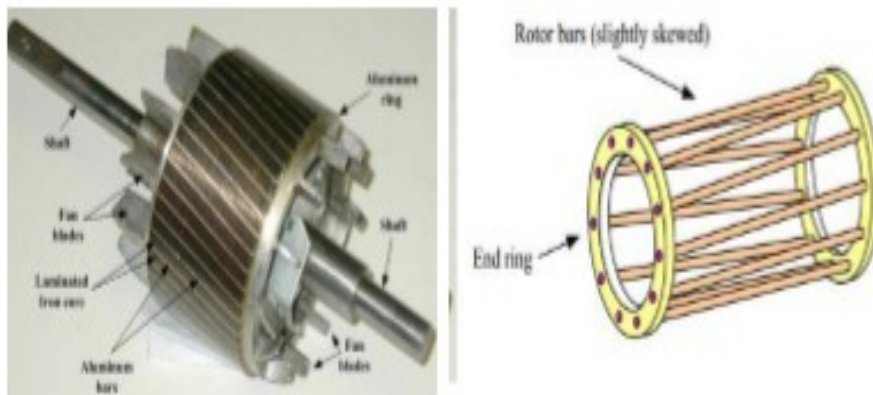
2.2 Konstruksi Motor Induksi

Motor induksi pada dasarnya mempunyai 3 bagian penting seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.2 sebagai berikut:

1. Stator : Merupakan bagian yang diam dan mempunyai kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotornya.
2. Celah : Merupakan celah udara. Tempat berpindahnya energi dari stator ke rotor.
3. Rotor : Merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor



Gambar 2. 3 a. Stator dan rotor sangkar b. Rotor belitan
(Sumber : <http://sisfo.itp.ac.id/bahanajar/> Bahan Ajar/Zuriman Anthony)



Gambar 2. 4 a. Bentuk rotor sangkar b. Kumparan dikeluarkan dari rotor
(Sumber : <http://sisfo.itp.ac.id/bahanajar/> Bahan Ajar/Zuriman Anthony)

Konstruksi stator motor induksi pada dasarnya terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut:

1. Rumah stator (rangka stator) dari besi tuang
2. Inti stator dari besi lunak atau baja silikon.
3. Alur, bahannya sama dengan inti, dimana alur ini merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan stator).
4. Belitan (kumparan) stator dari tembaga.

Rangka stator motor induksi ini didisain dengan baik dengan empat tujuan yaitu:

1. Menutupi inti dan kumparannya.
2. Melindungi bagian-bagian mesin yang bergerak dari kontak langsung dengan manusia dan dari goresan yang disebabkan oleh gangguan objek atau gangguan udara terbuka (cuaca luar).

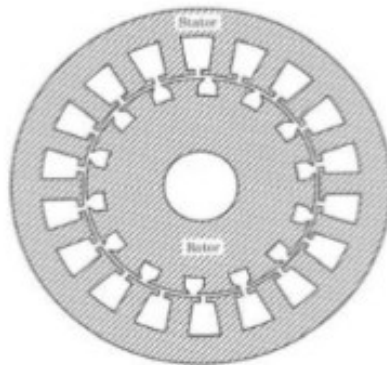
3. Menyalurkan torsi ke bagian peralatan pendukung mesin dan oleh karena itu stator didesain untuk tahan terhadap gaya putar dan guncangan.
4. Berguna sebagai sarana rumah ventilasi udara sehingga pendinginan lebih efektif.

Berdasarkan bentuk konstruksi rotornya, maka motor induksi dapat dibagi menjadi dua jenis seperti yang diperlihatkan pada gambar diatas, yaitu:

1. Motor induksi dengan rotor sangkar (squirrel cage).
2. Motor induksi dengan rotor belitan (wound rotor)

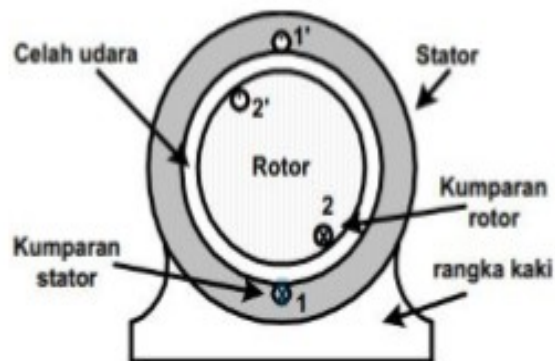
Konstruksi rotor motor induksi terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut:

1. Inti rotor, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti stator.
2. Alur, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti. Alur merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan) rotor.
3. Belitan rotor, bahannya dari tembaga.
4. Poros atau as.



Gambar 2. 5 Gambar sederhana bentuk alur / slot pada motor induksi
(Sumber : <http://sisfo.itp.ac.id/bahanajar/> Bahan Ajar/Zuriman Anthony)

Diantara stator dan rotor terdapat celah udara yang merupakan ruangan antara stator dan rotor. Pada celah udara ini lewat fluks induksi stator yang memotong kumparan rotor sehingga menyebabkan rotor berputar. Celah udara yang terdapat antara stator dan rotor diatur sedemikian rupa sehingga didapatkan hasil kerja motor yang optimum. Bila celah udara antara stator dan rotor terlalu besar akan mengakibatkan efisiensi motor induksi rendah, sebaliknya bila jarak antara celah terlalu kecil/sempit akan menimbulkan kesukaran mekanis pada mesin. Bentuk gambaran sederhana bentuk alur / slot pada motor induksi diperlihatkan pada gambar 2.4 dan gambaran sederhana penempatan stator dan rotor pada motor induksi diperlihatkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 6 Gambar sederhana motor induksi dengan satu kumparan stator dan satu kumparan rotor

(Sumber : <http://sisfo.itp.ac.id/bahanajar/> Bahan Ajar/Zuriman Anthony)

Tanda silang (x) pada kumparan stator atau rotor pada gambar diatas menunjukkan arah arus yang melewati kumparan masuk ke dalam sedangkan tanda titik (.) menunjukkan bahwa arah arus keluar.

2.2.1 Rotor

Ada dua jenis motor induksi berdasarkan rotornya yaitu :

1. Motor induksi tiga fasa rotor sangkar
2. Motor induksi tiga fasa rotor lilit

Kedua motor ini bekerja pada prinsip yang sama dan mempunyai konstruksi stator yang sama tetapi berbeda dalam konstruksi rotor.

2.2.2 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar

Penampang motor rotor sangkar memiliki konstruksi yang sederhana. Inti stator pada rotor sangkar tiga fasa terbuat dari lapisan-lapisan plat baja yang difabrikasi. Lilitan-lilitan kumparan stator diletakkan dalam alur stator yang terpisah 120 derajat listrik. Lilitan fasa ini dapat tersambung dalam hubungan delta (Δ) ataupun bintang (Y).

Rotor jenis rotor sangkar dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. 7 Tipikal rotor sangkar
(Sumber : David H. Sirait : Analisis Starting Motor Induksi Tiga Fasa pada PT. Berlian Unggas SaktiTj. Morawa, 2008)



Gambar 2. 8 Bagian-bagian rotor sangkar
(Sumber : David H. Sirait : Analisis Starting Motor Induksi Tiga Fasa pada PT. Berlian Unggas SaktiTj. Morawa, 2008)

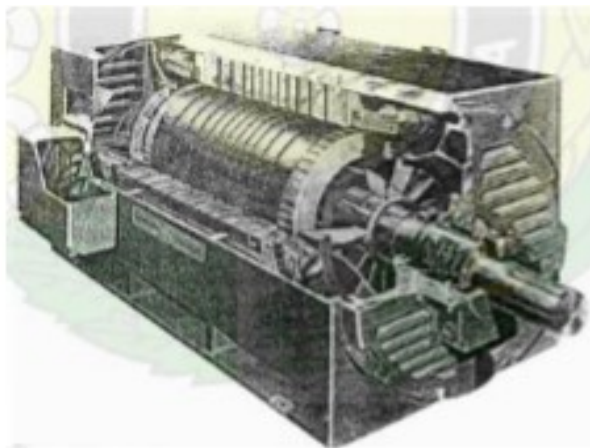
Batang rotor dan cincin ujung motor sangkar yang lebih kecil adalah coran tembaga atau aluminium dalam satu lempeng pada inti rotor. dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan kedalam alur rotor dan kemudian dilas dengan kuat ke cincin ujung. Batang rotor motor sangkar tidak selalu ditempatkan parallel terhadap poros motor tapi kerap kali dimiringkan. Hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetik

sewaktu motor sedang berputar. Pada ujung cincin penutup dilekatkan sirip yang berfungsi sebagai pendingin.

Motor induksi dengan rotor sangkar ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2. 9 Konstruksi motor induksi rotor sangkar skala kecil
(Sumber : David H. Sirait : Analisis Starting Motor Induksi Tiga Fasa pada PT. Berlian Unggas SaktiTj. Morawa, 2008)



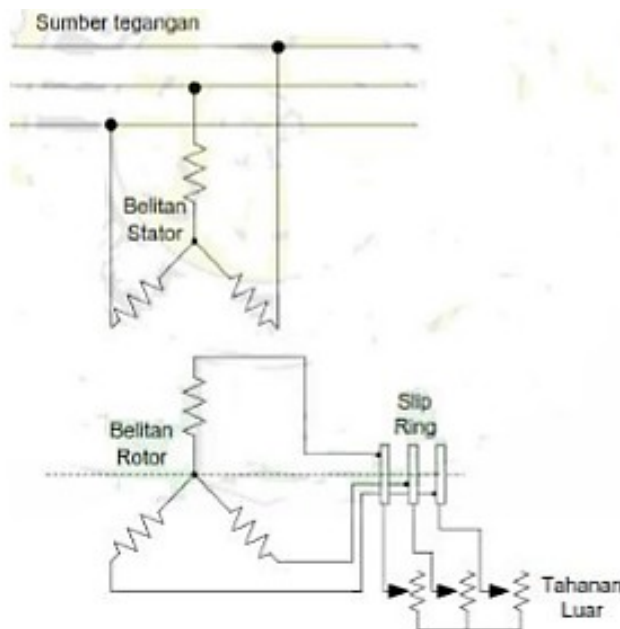
Gambar 2. 10 Konstruksi motor induksi rotor sangkar skala besar
(Sumber : David H. Sirait : Analisis Starting Motor Induksi Tiga Fasa pada PT. Berlian Unggas SaktiTj. Morawa, 2008)

Karakteristik motor rotor sangkar adalah sebagai berikut:

- Rotor terdiri dari penghantar tembaga yang dipasangkan pada inti yang solid dengan ujung-ujung dihubung singkat mirip dengan sangkar tupai.
- Kecepatan konstan.
- Arus start yang besar yang diperlukan oleh motor menyebabkan tegangan berfluktuasi.
- Arah putaran dapat dibalik dengan menukarkan dua dari tiga line daya utama pada motor.
- Faktor daya cenderung buruk untuk beban yang dikurangi.
- Apabila tegangan diberikan pada lilitan stator, dihasilkan medan-magnet putar yang menginduksikan tegangan pada rotor. Tegangan tersebut pada gilirannya menimbulkan arus yang besar mengalir pada rotor. Arus tersebut menimbulkan medan magnet. Medan rotor dan medan stator cenderung saling menarik satu sama lain. Situasi tersebut membangkitkan torsi, yang memutar rotor dengan arah yang sama dengan putaran medan magnet yang dihasilkan oleh stator.
- Pada saat start, motor akan terus berjalan dengan rugi fase sebagai motor satu-fase. Arus yang ditarik dari dua lin sisa hampir dua kali, dan motor akan mengalami panas lebih.

2.2.3 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan / Lilit / Slipring

Motor rotor belitan/lilit berbeda dengan motor rotor sangkar dalam hal konstruksi rotornya. Seperti namanya, rotor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor di hubungkan secara Y dan masing-masing fasa ujung terbuka yang dikeluarkan ke cincin slip yang terpasang pada poros rotor. Secara skematik dapat dilihat pada gambar dibawah ini



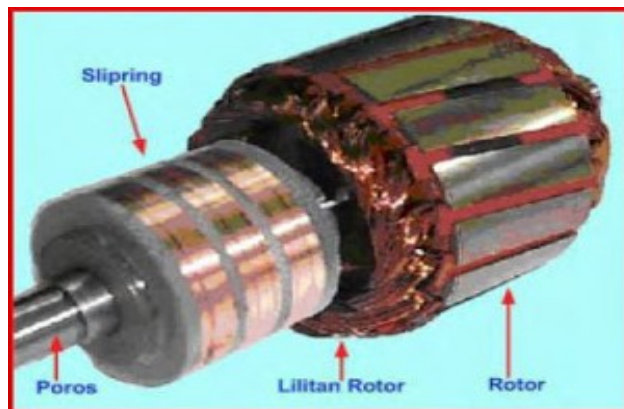
Gambar 2. 11 Skema diagram motor induksi rotor belit
(Sumber : David H. Sirait : Analisis Starting Motor Induksi Tiga Phasa pada PT. Berlian Unggas SaktiTj. Morawa, 2008)

Dari gambar dapat dilihat bahwa cincin slip dan sikat semata-mata merupakan penghubung tahanan kendali variabel luar ke dalam rangkaian rotor. Pada motor ini, cincin slip yang terhubung ke sebuah tahanan variabel eksternal yang berfungsi membatasi arus pengasutan dan yang bertanggung jawab terhadap pemanasan rotor. Selama pengasutan, penambahan tahanan eksternal pada rangkaian rotor belitan menghasilkan torsi pengasutan yang lebih besar dari arus pengasutan yang lebih kecil dibanding motor rotor sangkar. Konstruksi motor induksi tiga fasa rotor belitan ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 12 Rotor belitan

(Sumber : David H. Sirait : Analisis Starting Motor Induksi Tiga Fasa pada PT. Berlian Unggas SaktiTj. Morawa, 2008)



Gambar 2. 13 Konstruksi motor induksi tiga fasa rotor belitan

(Sumber : David H. Sirait : Analisis Starting Motor Induksi Tiga Fasa pada PT. Berlian Unggas SaktiTj. Morawa, 2008)

Keuntungan :

- Torsi start tinggi dengan arus start rendah.
- Percepatan dengan beban berat lembut.
- Tidak ada pemanasan abnormal selama periode starting.
- Pengaturan kecepatan yang bagus selama bekerja dengan beban konstan.
- Kecepatan dapat diatur

Kelemahan:

- Harga awal dan pemeliharaan lebih tinggi dibandingkan dengan motor sangkar tupai.
- Regulasi kecepatan jelek, apabila bekerja dengan tahanan pada rangkaian rotor.

2.3 Beda Motor Induksi Rotor Sangkar Dengan Rotor Lilit

Rotor Sangkar dapat dianggap sebagai lilitan – lilitan seri dengan langkah penuh (full pitch). Lilitan – lilitan seri tersebut dibentuk oleh pasangan – pasangan batang konduktor yang ujung – ujungnya disatukan oleh cincin hubung singkat, Jika kita bandingkan antara rotor sangkar dan rotor lilit ada perbedaan-perbedaan sebagai berikut:

1. Karakteristik motor induksi rotor sangkar sudah fixed, sedang pada motor induksi dengan rotor lilit masih dimungkinkan variasi karakteristiknya dengan cara menambahkan rangkaian luar melalui slip ring/sikatnya.
2. Jumlah kutub pada rotor sangkar menyesuaikan terhadap jumlah kutub pada lilitan statornya, sedangkan jumlah kutub pada rotor sudah tertentu. Suatu keuntungan dari motor induksi dengan rotor lilit adalah dapat ditambah tahanan luar. Hal ini sangat menguntungkan untuk starting motor pada beban yang berat dan sekaligus sebagai pengatur putaran motor. Rangkaian motor induksi dengan rotor lilit, dilengkapi dengan tahanan luar. Dalam penggunaannya rotor sangkar lebih banyak dipakai sebab harganya murah. Kelemahan pada starting torque diatasi dengan konstruksi double squirrel cage dan deep bar cage

Perbedaan mendasar dari rotor belit dengan rotor sangkar.

- Rotor sangkar tupai:
 - a. Tahanan rotor tetap
 - b. Arus starting tinggi
 - c. Torsi starting rendah
- Rotor belit :
 - a) Memungkinkan tahanan luar dihubungkan ketahanan rotor melalui slip ring yang terhubung kesikat.
 - b) Arus starting rendah
 - c) Torsi starting tinggi

2.4 Slip

Motor induksi tidak dapat berputar pada kecepatan sinkron. Seandainya hal ini terjadi, maka rotor akan tetap diam relatif terhadap fluks yang berputar. Maka tidak akan ada ggl yang diinduksikan dalam rotor, tidak ada arus yang mengalir pada rotor dan karenanya tidak menghasilkan kopel. Kecepatan rotor sekalipun tanpa beban, harus lebih kecil sedikit dari kecepatan sinkron agar adanya tegangan induksi pada rotor, dan akan menghasilkan arus di rotor, arus induksi ini akan berinteraksi dengan fluks listrik sehingga menghasilkan kopel.

Selisih antara kecepatan rotor dan kecepatan sinkron disebut slip (S). Slip dapat dinyatakan dalam putaran setiap menit, tetapi lebih umum dinyatakan sebagai persen dari kecepatan sinkron.

$$\text{Slip (S)} = \frac{ns - nr}{ns} \times 100\% \quad \dots\dots(1)$$

Dimana:

ns = Kecepatan sinkron Motor (rpm)

nr = kecepatan motor (rpm)

Persamaan diatas memberikan informasi yaitu :

- saat $s = 1$ dimana $nr = 0$, ini berarti rotor masih dalam keadaan diam atau akan berputar.
- $S = 0$ menyatakan bahwa $ns = nr$, ini berarti rotor berputar sampai kecepatan sinkron. Hal ini dapat terjadi jika ada arus dc yang diinjeksikan ke belitan rotor, atau rotor digerakkan secara mekanik.
- $0 < S < 1$, ini berarti kecepatan rotor diantara keadaan diam dengan kecepatan sinkron. Kecepatan rotor dalam keadaan inilah dikatakan kecepatan tidak sinkron.

- Menghitung Kecepatan sinkron atau rpm

$$ns = 120 \times F / P$$

Keterangan :

ns = Kecepatan sinkron motor (rpm)

F = Frekuensi (Hz)

P = Jumlah kutub motor (Pole)

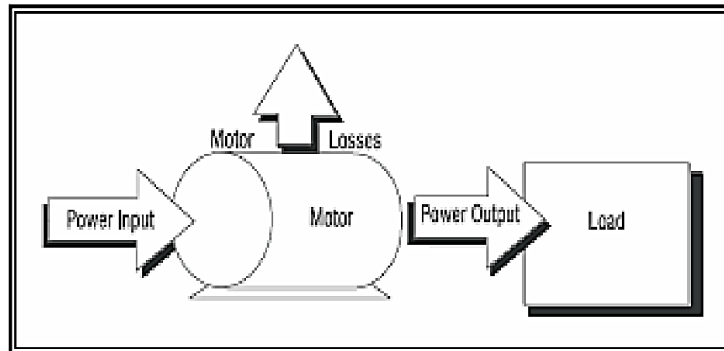
2.5 Efisiensi Motor Listrik

Efisiensi dari suatu motor induksi didefenisikan sebagai ukuran keefektifan motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang dinyatakan sebagai perbandingan / rasio daya output (keluaran) dengan daya input (masukan), atau dapat juga dirumuskan dengan :

$$\eta (\%) = \frac{P_{out}}{P_i} \times 100\% \quad \dots\dots(2)$$

Pada dasarnya metode yang digunakan untuk menentukan efisiensi motor induksi bergantung pada dua hal apakah motor itu dapat dibebani secara penuh atau pembebanan simulasi yang harus digunakan.

Motor mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk melayani beban tertentu. Pada proses ini, kehilangan energi ditunjukkan dalam Gambar dibawah ini.



Gambar 2. 14 Kehilangan Motor

(Sumber : Pedoman Efisiensi untuk Industri di Asia-www.energyefficiencyasia.org)

Efisiensi motor ditentukan oleh kehilangan dasar yang dapat dikurangi hanya oleh perubahan pada rancangan motor dan kondisi operasi. Kehilangan dapat bervariasi dari kurang lebih dua persen hingga 20 persen. Tabel dibawah memperlihatkan jenis kehilangan untuk motor induksi.

Tabel 2. 1 Jenis Kehilangan pada Motor Induksi (BEE India, 2004)

Jenis kehilangan	Persentase kehilangan total (100%)
Kehilangan tetap atau kehilangan inti	25
Kehilangan variabel: kehilangan stator I^2R	34
Kehilangan variabel: kehilangan rotor I^2R	21
Kehilangan gesekan & penggulangan ulang	15
Kehilangan beban yang menyimpang	5

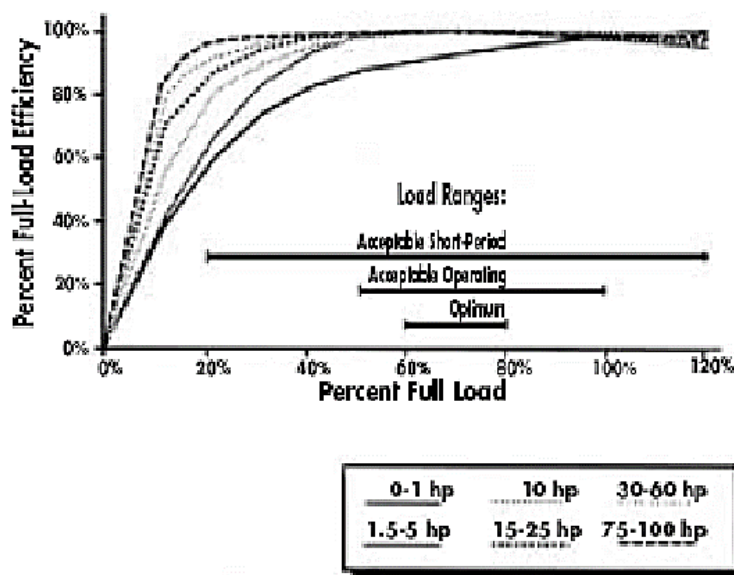
Efisiensi motor dapat didefinisikan sebagai “perbandingan keluaran daya motor yang dirgunakan terhadap keluaran daya totalnya”.

Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah:

- Usia. Motor baru lebih efisien.
- Kapastas. Sebagaimana pada hampir kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya.
- Kecepatan. Motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
- Jenis. Sebagai contoh, motor kandang tupai biasanya lebih efisien daripada motor cincin geser.

- Suhu. Motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total (TEFC) lebih efisien daripada motor screen protected drip-proof (SPDP)
- Penggulangan ulang motor dapat mengakibatkan penurunan efisiensi.
- Beban, seperti yang dijelaskan dibawah

Terdapat hubungan yang jelas antara efisiensi motor dan beban. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50-100% dan akan paling efisien pada beban 75%. Tetapi, jika beban turun dibawah 50% efisiensi turun dengan cepat seperti ditunjukkan pada Gambar dibawah. Mengoperasikan motor dibawah laju beban 50% memiliki dampak pada faktor dayanya. Efisiensi motor yang tinggi dan faktor daya yang mendekati 1 sangat diinginkan untuk operasi yang efisien dan untuk menjaga biaya rendah untuk seluruh pabrik, tidak hanya untuk motor.



Gambar 2. 15 Efisiensi Motor Beban Sebagian (sebagai fungsi dari % efisiensi beban penuh)

(Sumber : Pedoman Efisiensi untuk Industri di Asia-www.energyefficiencyasia.org)

Untuk alasan ini maka dalam mengkaji kinerja motor akan bermanfaat bila menentukan beban dan efisiensinya. Pada hampir kebanyakan negara, merupakan persyaratan bagi pihak pembuat untuk menuliskan efisiensi beban penuh pada pelat label motor. Namun demikian, bila motor beroperasi untuk waktu yang cukup lama, kadang-kadang tidak mungkin untuk mengetahui efisiensi tersebut sebab pelat label motor kadangkala sudah hilang atau sudah dicat.

2.6 Mengukur Kecepatan Putaran

Kecepatan putaran motor sama dengan jumlah putaran motor dalam periode tertentu, misalnya putaran per menit (Rpm) atau kecepatan per detik (Rps). Alat ukur yang digunakan adalah indikator kecepatan sering disebut tachometer seperti gambar dibawah ini sinar laser pada Tachometer ditembakkan pada poros dan display digital akan menunjukkan putaran poros motor.



Gambar 2. 16 Pengukuran poros dengan tachometer
(Sumber : foto dari Laboratorium MEAS)

Kecepatan motor diukur dengan alat tachometer, pengukuran dilakukan pada poros rotor, ada tachometer analog dan tachometer digital.

2.7 Mengukur Torsi Motor Listrik

Torsi sering disebut momen (M) merupakan perkalian gaya F (Newton) dengan panjang lengan L (meter).

$$T = \frac{P}{\omega} \quad \text{.....(3)}$$

$$T = \frac{P}{2\pi(rps)} \quad \text{.....(4)}$$

Rumus diatas merupakan rumus torsi yang sering digunakan untuk mengukur torsi.

2.8 Karakteristik Motor Induksi

Karakteristik motor listrik menunjukkan kinerja motor tersebut dalam berbagai kondisi operasi. Karakteristik motor listrik yang utama, yang perlu diperhatikan adalah :

1. Karakteristik torsi-arus
2. Karakteristik kecepatan-arus
3. Karakteristik torsi-kecepatan

Torsi M di bangkitkan pada poros motor atau mesin penggerak dengan kecepatan putar n . Dari kedua 2 besaran ini, maka dapat diketahui daya mekanis motor atau mesin penggerak tersebut.

Kecepatan putaran motor n_p adalah jumlah revolusi untuk suatu periode waktu tertentu. Kecepatan putaran motor diukur dalam satuan revolusi per menit (rpm) atau revolusi per detik (rps). Kecepatan putaran motor listrik umumnya menggunakan satuan revolusi per menit (rpm).

Untuk pengukuran torsi dapat digunakan tongkat penyeimbang, dimana hasil kali antara gaya F dan panjang s dari lengan penyeimbang merupakan torsi M yang dihasilkan.

$$M = F \times S \text{ (Newton-meter)} \quad \dots\dots(5)$$

Jika torsi yang searah jarum jam sama besar dengan torsi yang berlawanan arah jarum jam, maka tercapai posisi seimbang. Jika kedua torsi ini tidak seimbang, maka kedua lengan ini akan berputar ke arah torsi yang lebih besar.

Torsi juga dibangkitkan oleh mesin listrik putar, dimana medan magnet membangkitkan garis gaya magnet (fluks) di dalam stator. Berdasarkan prinsip dasar motor, maka gaya F yang dibangkitkan pada konduktor kumparan rotor yang dialiri arus adalah :

$$F = B \cdot I \cdot L \quad \dots\dots(6)$$

Gaya ini bekerja pada konduktor yang berjarak s dari titik tengah poros rotor. Jika terdapat sejumlah z konduktor yang dialiri arus yang diberada dalam garis gaya magnet, maka akan dihasilkan torsi M yang besarnya:

$$M = F \cdot s \quad \dots\dots(7)$$

$$M = B \cdot I \cdot l \cdot z \cdot s \quad \dots\dots(8)$$

Motor akan mencapai suatu kecepatan konstan jika torsi yang dibangkitkan sama besar dengan torsi lawan (torsi pengereman) yang disebabkan oleh rotor itu sendiri, gesekan yang timbul dan beban yang digerakkan.

Pada mesin listrik putar, torsi diukur dengan rem, dinamometer (cradle dynamometer) atau rem arus pusar (eddy current brake).

Untuk motor listrik, terdapat hubungan antara torsi M dan kecepatan putaran n motor. Kecepatan putaran n akan menurun seiring dengan kenaikan torsi M yang dibangkitkan.

Torsi M di bangkitkan pada poros motor atau mesin penggerak dengan kecepatan putar n . Dari kedua 2 besaran ini, maka dapat diketahui daya mekanis motor atau mesin penggerak tersebut.

Kriteria yang penting untuk mengevaluasi dan memilih sebuah motor listrik adalah faktor daya ($\cos \phi$), Efisiensi η , Kecepatan putaran n dan daya motor P . Hubungan antara variabel-variabel ini juga tidak kalah pentingnya. Untuk motor 3 fasa, hubungan antar variabel ini diplot dalam suatu grafik membentuk kurva beban dan kurva operasi.

2.9 Pembebanan Pada Motor Induksi

Motor induksi 3-fasa merupakan motor listrik yang bekerja berdasarkan perputaran medan elektromagnetik yang diinduksikan dari kumparan stator ke rotornya. Kecepatan putaran medan magnet ini dipengaruhi oleh frekuensi sumber yang masuk ke motor dengan mengacu ke persamaan berikut :

$$N_s = 120 \cdot f / p \quad \dots\dots(9)$$

yang mana :

f = frekuensi sumber AC (Hz)

p = jumlah kutub yang terbentuk pada motor

N_s = kecepatan putaran medan magnet stator (putaran / menit, rpm)

Putaran medan magnet ini diikuti oleh putaran rotor motor induksi. Makin berat beban motor, maka kecepatan rotor juga akan turun sehingga terjadi slip (s).

Perlu diketahui bahwa makin besar slip, maka makin besar pula frekuensi rotor. Untuk setiap harga slip, frekuensi rotor f_r sama dengan frekuensi stator f_s dikalikan dengan slip yang dapat dinyatakan dengan rumus :

$$f_r = S \cdot f_s \quad \text{.....(10)}$$

frekuensi rotor sangat berarti karena jika ia berubah, reaktansi rotor ($X_r = 2 \pi f_r L_r$) juga berubah, berarti mempengaruhi karakteristik start maupun karakteristik jalan motor.

Jika beban ditambah, komponen aktif atau komponen daya dari arus bertambah, menghasilkan suatu faktor daya yang lebih tinggi. Tetapi karena besarnya arus pemagnetan, yang ada tanpa mempedulikan beban, faktor daya motor induksi sekalipun pada beban penuh jarang melebihi 90 persen.

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \quad \text{.....(11)}$$

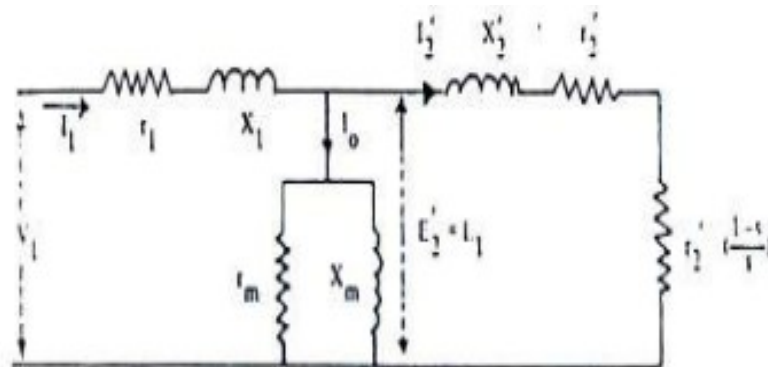
Dimana :

$\cos \phi$ = faktor daya

P = daya aktif (Watt)

S = daya semu (VA)

Motor induksi 3-fasa dapat dianalisa berdasarkan rangkaian ekivalen motor ini. Bentuk rangkaian ekivalen ini perfasa diperlihatkan seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 2. 17 Rangkaian ekivalen motor induksi 3 fasa perfasa
(Sumber : Yusnita, 2012)

yang mana:

V1 = Tegangan sumber perfasa pada kumparan stator

r1 = Resistansi kumparan stator

x1 = Reaktansi Induktif kumparan stator

r_2' = Resistansi kumparan rotor dilihat dari sisi stator

x_2' = Reaktansi Induktir rotor dilihat dari sisi stator

x_m = Reaktansi magnet pada Motor

r_m = Resistansi magnet pada motor

$\frac{r_2}{s} (1-s)$ = Resistansi yang mewakili beban motor

I_1 = Arus kumparan stator

I_1' = Arus pada kumparan rotor dilihat dari sisi stator

I_0 = Arus Magnetisasi

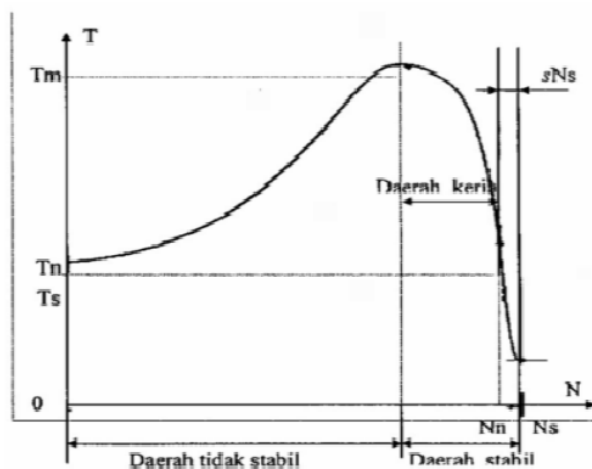
2.10 Hubungan Kecepatan Dengan Torsi

Hubungan kecepatan dengan torsi Berdasarkan rumus $P_m = \omega \cdot T$ jika daya mekanik (P_m) dianggap konstan maka besarnya torsi tergantung dari kecepatan sudut (ω).

$$\omega = 2\pi \frac{n_r}{60} \quad \text{.....(12)}$$

Jika putaran rotor dipercepat, maka torsi yang dihasilkan kecil, sedangkan jika torsi besar maka kecepatannya lambat. Gambar dibawah menggambarkan hubungan antara kecepatan dengan torsi.

Pada beban penuh motor berputar pada kecepatan N_n . Pada saat beban mekanik meningkat, kecepatan motor menurun sampai torsi maksimum sama dengan torsi beban. Bila torsi beban melebihi T_m , maka motor akan berhenti.



Gambar 2. 18 Kurva kecepatan terhadap torsi

(Sumber : Yusnita, 2012)

2.11 Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Phase

Pengaturan kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu; mengubah jumlah kutub, mengubah frekuensi input, mengatur tegangan input, serta pengaturan tahanan luar.

2.11.1 Mengubah Jumlah Kutub (Pole Changing Motor)

Mengingat bahwa $n_s = \frac{120 f_1}{P}$ maka perubahan jumlah kutub (P) dan frekuensi (f) akan mempengaruhi putaran.

2.11.2 Pengaturan Frekuensi Sumber (line Frequency Control)

Kecepatan putaran motor induksi tiga fasa dapat diatur dengan merubah frekuensi sumber, karena medan putar stator merupakan fungsi frekuensi.

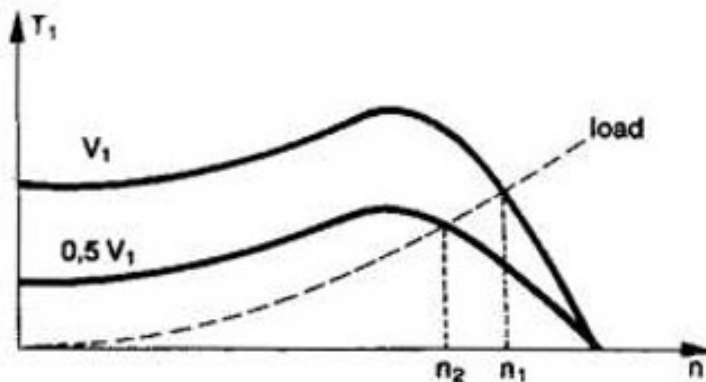
Dari persamaan medan putar dapat dianalisis bahwa apabila nilai fekuensi f berubah, maka akan mempengaruhi perubahan harga medan putar stator (n_s).

2.11.3 Mengatur Tegangan Sumber (Line Voltage Control)

Besarnya kopel motor induksi tiga fasa dirumuskan :

$$T = \frac{3}{\omega} (V_1)^2 \frac{a^2 R_2}{s a^2 R^2} \quad \dots\dots(13)$$

Persamaan kopel motor induksi tiga fasa menjelaskan bahwa kopel sebanding dengan pangkat dua tegangan yang diberikan. Pada beban tertentu dengan menganggap besarnya tahanan rotor dan reaktansi rotor konstan serta slip yang kecil, dengan merubah nilai tegangan input maka akan terjadi perubahan kecepatan. Pengaturan putaran motor induksi tiga fasa dengan cara mengatur tegangan sumber mempunyai daerah kerja yang lebih luas.



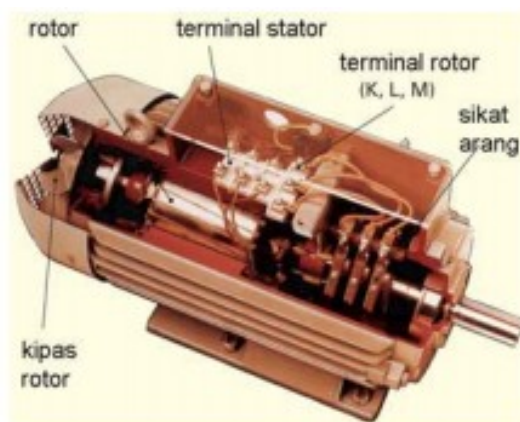
Gambar 2. 19 Karakteristik pengaturan tegangan
(Sumber : Yusnita, 2012)

2.11.4 Pengaturan Tahanan Luar

Kecepatan putar motor induksi tiga fasa dapat dirubah dengan menambahkan tahanan luar . Dengan mengatur tahanan luar akan terjadi perubahan kecepatan. Pengaturan tahanan luar hanya dapat dilakukan untuk motor induksi jenis rotor lilit.

2.12 Pengasutan Motor Slipring

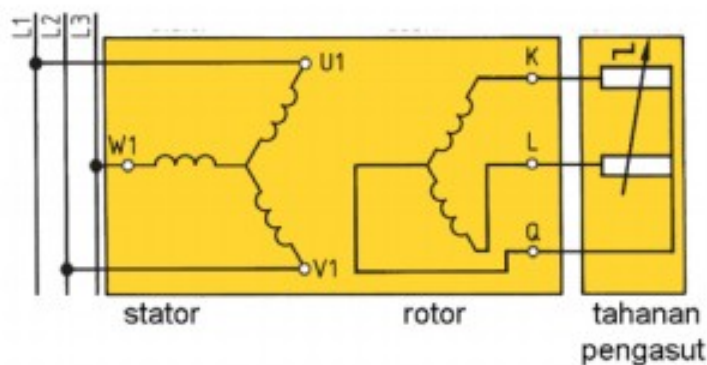
Motor slipring pada gambar dibawah ini atau sering disebut motor rotor lilit termasuk motor induksi 3 fasa dengan rotor belitan dan dilengkapi dengan slipring yang dihubungkan dengan sikat arang ke terminal. Motor slipring dirancang untuk daya besar.



Gambar 2. 20 Bentuk fisik motor induksi rotor slipring
(Sumber : http://siapbelajar.com/wp-content/uploads/2013/09/6_102Teknik-Listrik-Indus-Jilid-2.pdf)

Motor slipring pada terminal box memiliki sembilan terminal, enam terminal terhubung dengan tiga belitan stator masing-masing ujungnya (U1-U2, V1-V2 dan W1-W2), tiga terminal (K-L-M) terhubung ke belitan rotor melalui slipring. Ada tiga cincing yang disebut slipring yang terhubung dengan sikat arang. Sikat arang ini secara berkala harus diganti karena akan memendek karena aus.

Pengasutan rotor lilit pada gambar dibawah ini belitan rotor yang ujungnya terminal K-L-M dihubungkan dengan resistor luar yang besarnya bisa diatur. Dengan mengatur resistor luar berarti mengatur besarnya resistor total yang merupakan jumlah resistansi rotor dan resistansi luar ($R_{\text{rotor}} + R_{\text{luar}}$), sehingga arus rotor I_2 dapat diatur.

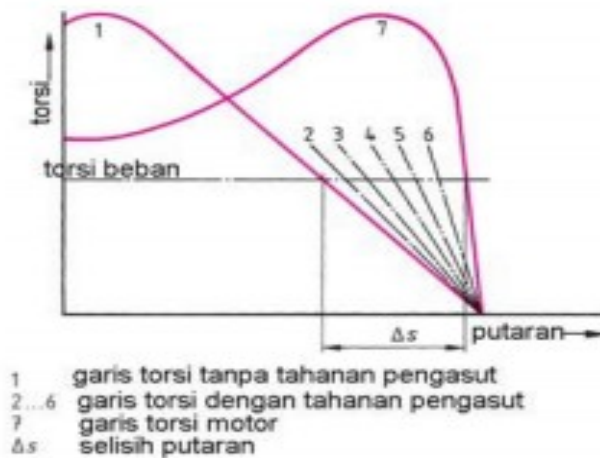


Gambar 2. 21 Belitan stator dan rotor motor slipring berikut resistor pada rangkaian rotor

(Sumber : http://siapbelajar.com/wp-content/uploads/2013/09/6_102Teknik-Listrik-Indus-Jilid-2.pdf)

Ketika resistor berharga maksimum, arus rotor yang mengalir minimum, sekaligus memperbaiki faktor kerja motor. Kelebihan pengasutan rotor lilit yaitu diperoleh torsi starting yang tinggi, dengan arus starting yang tetap terkendali.

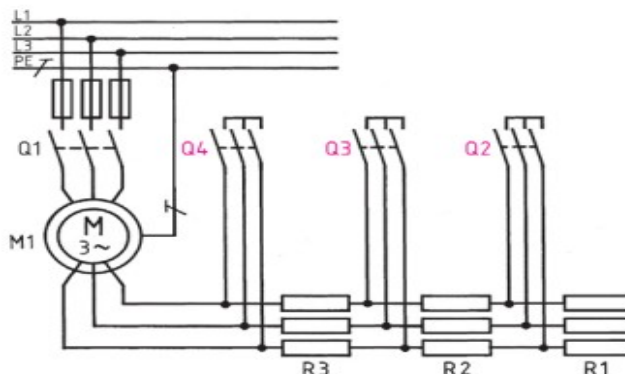
Resistansi rotor luar dibuat bertahap pada gambar dibawah dengan tujuh tahapan. Saat tahap-1 nilai resistor maksimum kurva torsi terhadap slip, berikutnya tahap 2, 3, 4, 5, 6 dan tahap 7. Antara tahap-1 sampai tahap- 7 selisih slip sebesar 1%. Dengan demikian pengaturan resistor rotor juga berfungsi mengatur putaran rotor dari putaran rendah saat tahap-1 menuju putaran nominal pada tahap-7.



Gambar 2. 22 karakteristik torsi motor slipring

(Sumber : http://siapbelajar.com/wp-content/uploads/2013/09/6_102Teknik-Listrik-Indus-Jilid-2.pdf)

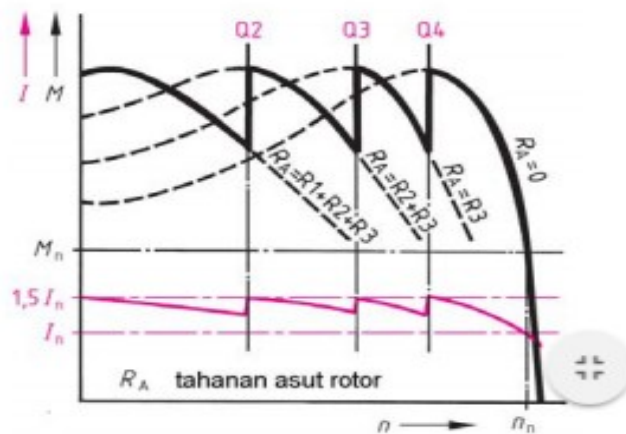
Pengaturan resistor rotor dapat menggunakan kontaktor elektromagnet pada gambar dibawah dengan menggunakan 3 tahap. Kontaktor Q1 menghubungkan stator dengan sumber daya listrik.



Gambar 2. 23 Pengawatan motor slipring dengan tiga tahapan resistor
 (Sumber : http://siapbelajar.com/wp-content/uploads/2013/09/6_102Teknik-Listrik-Indus-Jilid-2.pdf)

1. Ketika Q2, Q3, Q4 OFF resistansi rotor maksimum ($R_A = R_1 + R_2 + R_3$).
2. Saat Q2 ON resistansi luar $R_A = R_2 + R_3$.
3. Ketika Q3 ON resistansi $R_A = R_3$ saja.
4. Ketika Q4 ON rotor kondisi terhubung singkat $R_A = 0$, motor bekerja nominal.

Grafik momen motor rotor lilit pada gambar di bawah dengan empat tahapan. Tahap pertama yang saat Q1 kondisi ON dan Q2+Q3+Q4 posisi OFF. maka rangkaian tahanan rotor besarnya maksimum, besarnya arus starting 1,5 In sampai beberapa saat ke tahap kedua. Tahap kedua Q2 kondisi ON dan Q3+Q4 posisi OFF, arus starting 1,5 In menuju In sampai tahap ketiga. Tahap ketiga Q3 kondisi ON dan Q4 posisi OFF, arus starting kembali ke posisi 1,5 In dan terakhir posisi tahap keempat saat Q4 ON semua resistor dihubungsingkatkan, dan motor slipring bekerja kondisi nominal.



Gambar 2. 24 Karakteristik torsi dengan tiga tahapan

(Sumber : http://siapbelajar.com/wp-content/uploads/2013/09/6_102Teknik-Listrik-Indus-Jilid-2.pdf)

Pengasutan Slipring termasuk pengasutan dengan menambahkan tahanan pada rangkaian rotornya, hanya bisa dilakukan pada motor 3 fasa jenis rotor lilit. Dengan mengatur besaran tahanan rotor, arus dan torsi starting dapat diatur besarnya.

2.13 Motor DC dan AC Sebagai Penggerak Kapal

Motor listrik DC yang digunakan sebagai tenaga penggerak utama, biasanya digunakan pada kapal-kapal dengan kemampuan manuver yang tinggi, kapal khusus, kapal dengan daya tampung muatan yang besar, dan kapal yang menggunakan penggerak mula non-reversible. Perkembangan prime mover untuk penggerak utama di kapal mengalami perkembangan yang sangat pesat sejak ditemukannya uap oleh J. Watt, mesin diesel oleh Rudolf Diesel serta turbin gas oleh Brayton. Pada tahun-tahun awal berbagai penemuan mengenai ketiga prime mover hanya berkisar pada penyempurnaan sistem kerja. Dan pada dewasa ini berbagai perkembangan menjurus pada penggunaan emisi gas buang. Pada mesin diesel pengaturan putaran dan pembalikan putaran sangat dimungkinkan. Tetapi pada proses pembalikan putaran pada mesin diesel membutuhkan waktu yang relatif lebih lama jika ditinjau mulai dari putaran normal. Untuk turbin uap dan turbin gas pengaturan putaran mempunyai range

yang sangat sempit dari putaran normal. Dan untuk membalikkan putaran pada kedua jenis prime mover tersebut sangatlah tidak mungkin.

Berdasarkan pada fakta diatas maka para engineer mengembangkan sistem yang merupakan gabungan dari ketiga prime mover tersebut dengan motor listrik yang selanjutnya disebut dengan Electric Propulsion. Pada sistem electric propulsion, ketiga prime mover menggerakkan generator dan selanjutnya generator mensuplai listrik yang digunakan untuk memutar motor listrik. Jenis motor listrik yang digunakan disesuaikan dengan type atau fungsi kapal tersebut dalam eksplotasinya. Pada umumnya kapal yang mempunyai kegunaan khusus yang menggunakan motor DC dan untuk kapal niaga yang berorientasi profit pada umumnya menggunakan motor AC. Misalnya untuk kapal pemecah es (ice breaker) menggunakan motor DC dalam hal ini dikarenakan torsi yang diperlukan propeller sangat besar.

2.14 Aplikasi Motor Listrik AC dan DC di Kapal

Aplikasi motor penggerak listrik di kapal meliputi sebagai berikut:

➤ Arus bolak-balik (AC)

Arus bolak-balik (AC) digunakan dikapal untuk kebutuhan sebagai berikut :

- Untuk peralatan/perlengkapan listrik, misalnya peralatan berupa mesin pompa (ballast, bilge, FW, dan lain-lain), mesin angkat (crane, jangkar, dan lain-lain), refrigerator dan system air condition (AC).

➤ Arus Searah (DC)

Arus searah (DC) digunakan untuk kapal pada saat darurat, Daya terbesar yang terjadi pada kondisi darurat adalah pada saat start. Beban-beban yang harus disuplai dayanya dari sumber tenaga sesaat adalah sebagai berikut ;

- Daya untuk pengoperasian pintu kedap.
- Satu pompa bilge, pompa pemadam kebakaran dan pompa sprinkler.
- Sistem untuk smoke detector

2.15 Hal-Hal Yang Penting Mengenai Motor Slip Ring

Motor jenis ini dihidupkan menggunakan sirkuit rotor dengan memasukkan hambatan yang sesuai kemudian mengurangnya secara bertahap.

1. Hambatan eksternal menambahkan hingga total impedansi dari gulungan motor dan membatasi arus start. Selain itu juga meningkatkan factor daya pada saat starting.
2. Karena kinerja motor induksi dapat bervariasi dengan mengubah parameter rotor, motor slip-ring, melalui rangkaian rotor-nya, dapat dibuat untuk memenuhi setiap kebutuhan torsi dan kecepatan tertentu.

3. Kecepatan motor slip-ring dapat divariasikan melalui hambatan eksternal. Oleh karena itu torsi dapat diatur pada setiap nilai sampai dengan torsi pull-out di seluruh rentang kecepatan dengan memvariasikan tahanan luar dengan sesuai.. Pada kecepatan yang lebih rendah, efisiensi motor akan menjadi rendah, sebagai output yang sebanding dengan kecepatan. Efisiensi akan sulit mencapai dalam rasio dari dua kecepatan tersebut, yaitu :

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{N_{r2}}{N_{r1}} \quad \text{.....(14)}$$

Bahkan, itu akan menjadi lebih buruk sebagai akibat dari efek pendinginan yang seimbang pada kecepatan yang lebih rendah. Karena $kW \propto N_r \cdot T$, kW akan bervariasi sesuai dengan kecepatan, torsi yang ada hampir sama di sepanjang rentang kecepatan. motor akan menggunakan daya yang sama dari sumber seperti sebelumnya, yang, sebanding dengan variasi kecepatan, akan muncul sebagai rugi slip di sirkuit rotor. Misalnya, pada 25% slip, output daya akan menjadi 75% dikurangi efek pendinginan dan 25% ini akan muncul sebagai kerugian slip di sirkuit rotor.

4. Pembatasan pada arus starting dan kebutuhan untuk torsi awal yang tinggi untuk mempercepat massa berputar berat kadang-kadang membatasi penggunaan motor sangkar tupai. Untuk aplikasi seperti motor slip-ring menyediakan alternatif yang lebih baik.
5. Selama start-up, rotor lebih rentan terhadap kerusakan akibat panas yang berlebihan pada rotor dibandingkan dengan stator. Tapi di motor slipring sebagian besar dari panas ini dibagi oleh resistensi eksternal, sebanding dengan nilai resistif nya. Oleh karena itu, motor slip-ring dapat diaktifkan ON dan OFF lebih sering, dibandingkan dengan motor sangkar tupai. Hal ini juga dapat menahan waktu starting pada saat, mempercepat beban yang berat. Sekarang hambatan eksternal dapat memenuhi untuk kebutuhan beban tersebut.

2.16 Beban Motor Induksi Tiga Fasa

Dalam melaksanakan pengujian pengereman dinamik digunakan dinamometer DC (generator-motor arus searah) sebagai beban motor induksi. Dinamometer DC dalam percobaan berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

2.17 Pengereman Pada Motor Listrik

Pengereman secara elektrik, torsi pengereman dihasilkan berdasarkan nilai arus injeksi yang diberikan pada belitan stator. Pada pengereman secara elektrik energi putaran rotor diubah menjadi energi elektrik yang kemudian dikembalikan ke suplai daya, atau dengan memberikan suatu medan magnet stasioner pada stator sehingga

putaran rotor akan berkurang dengan sendirinya, pengereman secara elektrik lebih halus dan tidak ada hentakan yang terjadi. Pengereman secara elektrik tidak dapat menghasilkan torsi untuk menahan beban dalam keadaan sudah berhenti dan membutuhkan sumber energi listrik untuk mengoperasikannya.

2.17.1 Pengereman Dinamik

Pengereman dinamik digunakan untuk menghentikan putaran rotor motor induksi. Tegangan pada stator diubah dari sumber tegangan AC menjadi tegangan DC dalam waktu yang sangat singkat. Torsi yang dihasilkan dari pengereman tergantung pada besar arus DC yang diinjeksikan pada belitan stator. Arus searah yang diinjeksikan pada kumparan stator akan mengembangkan medan stasioner untuk menurunkan tegangan pada rotor. Oleh karena kumparan rotor terhubung singkat, arus yang mengalir menghasilkan medan magnet. Medan magnet akan berputar dengan kecepatan yang sama dengan rotor tetapi dengan arah yang berlawanan untuk menjadikan stasioner terhadap stator. Interaksi medan resultan dan gerak gaya magnet rotor akan mengembangkan torsi yang berlawanan dengan torsi motor sehingga pengereman terjadi. Torsi pengereman yang dihasilkan tergantung pada besarnya arus injeksi DC pada belitan stator, karena torsi pengereman sebanding dengan arus injeksi. Sedangkan nilai tahanan (R) berpengaruh pada nilai kecepatan torsi pengereman terjadi. Semakin kecil nilai tahanan (R), semakin cepat torsi pengereman terjadi.

2.17.2 Pengereman Secara Plugging

Metode ini adalah metode yang paling umum digunakan untuk mengontrol elevator, penggiling, dan mesin perkakas.

Pada metode ini, koneksi ke terminal jangkar dibalik jadi motor akan berputar kearah sebaliknya. Dikarenakan dibaliknya koneksi jangkar, tegangan dan ggl bekerja pada arah yang sama pada sirkuit. Untuk membatasi arus jangkar pada nominal yang rasional, penting untuk menambahkan resistor pada rangkaian selama membalik arah koneksi jangkar. Pengereman secara plugging memberikan torsi yang lebih besar dari pada pengereman dengan metode rheostat.

(Theraja, 1994)

2.17.3 Pengereman Elektromekanis

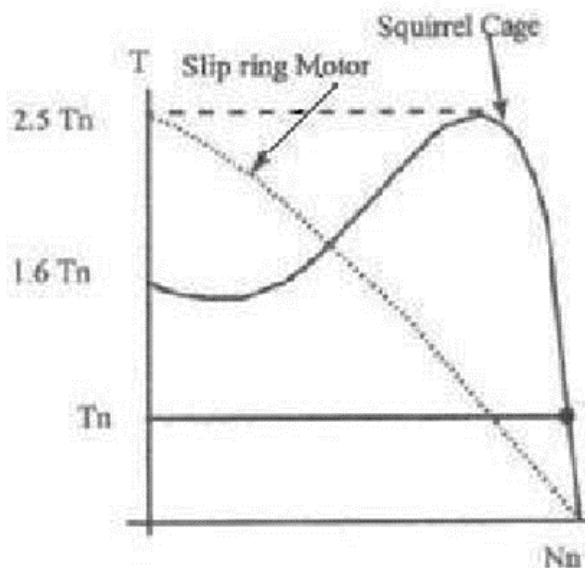
Pada mesin Crane sistim pengereman yang paling sesuai adalah sistim pengereman Elektromekanis. Pada saat motor berputar maka tegangan elektromekanis bekerja membuka drum. Apabila tegangan elektromekanis hilang maka drum akan dicengkeram oleh sepatu rem. Kondisi ini akan aman terhadap saat tegangan hilang maka proses pengereman bekerja.

2.17.4 Pengereman Beban Listrik

Pengerem beban listrik adalah alat yang sederhana dan kuat yang terdiri dari rotor besi yang dipasang didalam perangkat medan diam. Perangkat medan terdiri dari struktur kumparan dan besi yang dirancang sedemikian rupa sehingga ketika arus searah mengalir pada kumparan, mengubah kutub-kutub magnet yang dihasilkan pada besi, yaitu kutub utara dekat dengan kutub selatan dan selanjutnya. Ketika besi rotor bergerak melewati kutub stator, medan berubah-ubah dibangkitkan, menyebabkan arus eddy mengalir pada rotor.

2.18 Fitur Teknis SRM (Slip Ring Motor) dan SCM (Squirrel Cage Motor)

Gambar dibawah menunjukkan bahwa SRM dapat melakukan lebih banyak torsi (torsi 2,5 torsi) dari pada SCM (torsi 1,6 torsi) pada kecepatan awal mendekati nol dan secara bertahap torsi turun saat kecepatan mencapai kecepatan pengenal dengan menggunakan metode pengontrol konvensional.



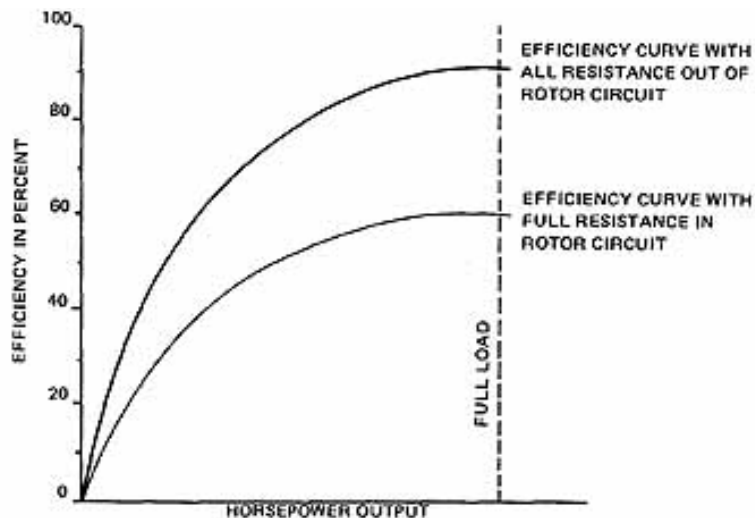
Gambar 2. 25 Torque versus speed SRM and SCM

(Sumber : International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering
Website: www.ijetae.com)

2.19 Operasi Efisiensi wound rotor

Kedua motor induksi baik itu wound rotor atau squirrel-cage menunjukkan performa efisiensi yang hampir sama. Walaupun ketika motor dioperasikan dengan kecepatan rendah dengan hambatan yang semakin diturunkan efficiency dari motor akan tetap kecil karena pengurangan daya pada resistor dari pengaturan kecepatan.

Gambar dibawah mengilustrasikan performa dari motor induksi wound rotor. Kurva paling atas menunjukkan hasil efisiensi tertinggi ketika pengaturan putaran berada pada posisi yang paling cepat dan tidak ada hambatan yang di berikan pada rotor circuit. Curva paling bawah menunjukkan efisiensi terendah. Hal ini terjadi ketika pengaturan kecepatan berada pada posisi terlambat dan semua pengaturan hambatan diberikan pada rotor circuit.



Gambar 2. 26 Grafik Efisiensi motor induksi wound-rotor
(Sumber : http://www.industrial-electronics.com/elec4_17.html)

BAB III METODELOGI

Metodologi dalam pengerjaan tugas akhir adalah kerangka berfikir yang digunakan selama pengerjaan tugas akhir mulai sejak tugas akhir pertama kali dikerjakan hingga tugas akhir dinyatakan selesai. Metodologi penelitian diperlukan agar proses penelitian dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan, sehingga memperoleh hasil yang maksimal. Lebih tepatnya metodologi penelitian ini digunakan untuk menyelesaikan masalah yang telah dipaparkan sebelumnya dengan sistematis dan diharapkan mendapatkan hasil sebaik mungkin.

Pada tugas akhir ini digunakan metode dengan melakukan praktikum untuk pengambilan data yang dilanjutkan dengan melakukan perhitungan – perhitungan yang dibutuhkan dalam melakukan analisa performa motor asinkron 3 phase rotor belit feedback tipe No. 243.

3.1 Tempat Pengujian

Tempat pengujian penelitian ini dilakukan di Laboratorium Listrik Kapal dan Sistem Otomasi, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

3.2 Studi Literatur

Pada tahapan selanjutnya dilakukan studi literatur dengan tujuan untuk merangkai dasaran teori serta informasi pendukung lainnya yang digunakan selama pengerjaan tugas akhir kali ini. Dalam penentuan literatur yang digunakan berasal dari sumber berupa jurnal ilmiah, buku penunjang, paper dan bertanya berkonsultasi dengan dosen pembimbing. Dalam hal ini tinjauan pustaka yang dipakai untuk membantu menyelesaikan tugas akhir adalah sebagai berikut:

- B.L Theraja, “A Texbook of Electrical Technology”, S. Chand, New Delhi, 2005
- FEEDBACK Torque / Speed Characteristics of an Asynchronous Motor – Slip Ring, Feedback Powerframes Laboratory Note number 243 : Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.
- FEEDBACK Machines Loading System ETL 174-3, ETL174N Swinging Field Dynamometer : Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.
- FEEDBACK Starting a Three Phase Asynchronous Motor with a Resistance Starter, Feedback Powerframes Laboratory Note number 140 : Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.
- FEEDBACK Effect of Rotor Resistance on the Starting Torque of an Asynchronous Motor, Feedback Powerframes Laboratory Note number 142 :

Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.

- FEEDBACK Speed Control of a Three Phase Asynchronous Motor by Means of Rotor Resistance, Feedback Powerframes Laboratory Note number 141 : Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.

3.3 Menyusun dan Menentukan Perangkat

Agar dapat menjadi rangkaian uji yang dapat menghasilkan data yang baik maka diperlukan alat uji sebagai berikut:

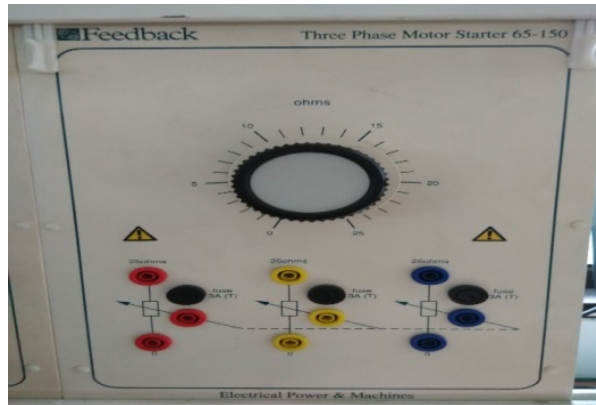
a) Motor asinkron 3 phase rotor belit



Gambar 3. 1 Motor asinkron 3 phase rotor belit Feed back tipe no.243
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

b) Three phase motor starter

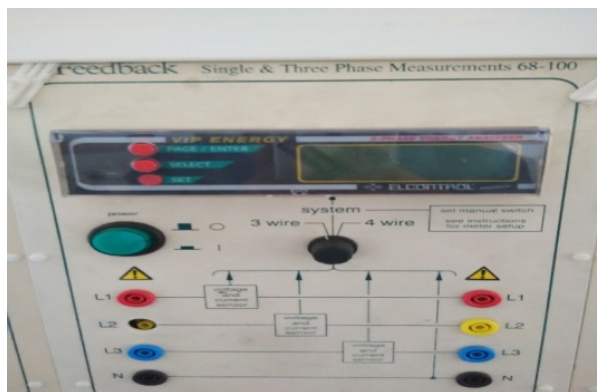
Merupakan suatu alat instrumen yang digunakan untuk mengatur hambatan.



Gambar 3. 2 Three phase motor starter 65 - 150
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

c) Single & three phase measurements

Merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur tegangan, arus, daya, $\cos \Phi$ dan lain – lain pada sistem 3 fasa maupun satu fasa.



Gambar 3. 3 Single & three phase measurements 68 – 100
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

d) Three phase supply control

Merupakan suatu alat yang terdiri dari earth leakage breaker dan 3 phase and single phase circuit breaker yang digunakan untuk menhidupkan dan mematikan suplai listrik untuk transformator dan suplai Switch Resistance Load 67-140 dan Single & Three Phase Measurement 68-100.



Gambar 3. 4 Three phase supply control 60-100
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

e) **Kabel**

merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal dari satu tempat ke tempat lain.



Gambar 3. 5 Kabel
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

f) **Variable Resistance**

Merupakan suatu alat instrumen yang digunakan untuk mengatur hambatan.



Gambar 3. 6 Variable Resistance 200 Ohm 2.5 A 67-11
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

g) Variable output voltage

Merupakan suatu alat instrumen yang digunakan untuk mengatur tegangan listrik.



Gambar 3. 7 Variable ac/dc Supply 5A 60-121
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

h) Tachometer

Merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan putaran suatu motor



Gambar 3. 8 Tachometer
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

i) Torque / Speed Display

Merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengetahui display dari torsi dan putaran .



Gambar 3. 9 Torque / Speed Display ETL 174P
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

j) Multimeter Digital

Merupakan suatu alat pengukur listrik yang dikenal sebagai VOM (Volt Ohm meter) yang dapat mengukur tegangan, hambatan, maupun arus.



Gambar 3. 10 Multimeter Digital
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

k) Megger Tester

Untuk mengukur tahanan isolasi pada suatu alat



Gambar 3. 11 Megger Tester
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

l) Digital Multimeter

Merupakan suatu alat yang dapat mengukur tegangan, hambatan, maupun arus.



Gambar 3. 12 Digital Multimeter SANWA CD800a
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

3.3.1 Variabel yang diamati

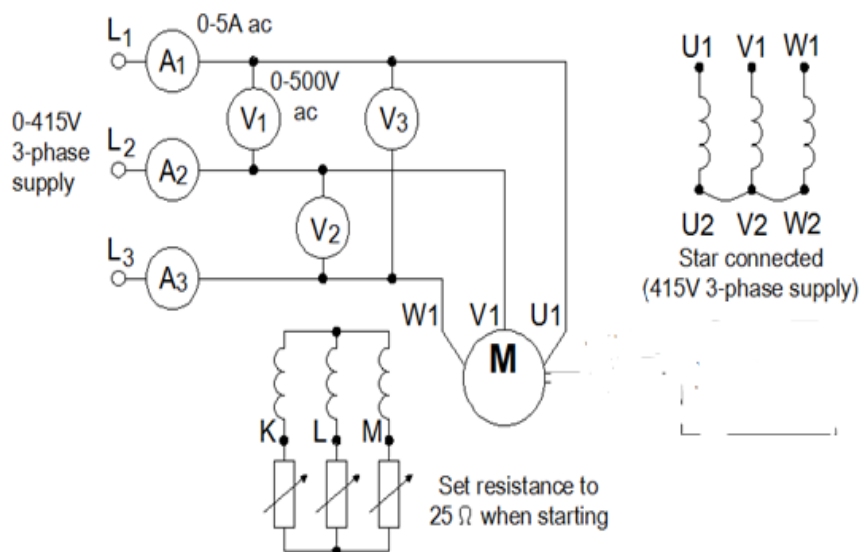
Variabel yang diamati pada pengujian ini yaitu:

- Tahanan isolasi dan kumparan
- Tanpa Beban
 - a) Tegangan line (V_{Line})
 - b) Tegangan fasa (V_{Fasa})
 - c) Frekuensi
 - d) Faktor daya ($\cos \Phi$)
 - e) Daya
 - f) Arus line (I_{Line})
 - g) Arus fasa (I_{Fasa})
 - h) Putaran motor
 - i) Torsi motor
 - j) Tahanan kumparan jangkar
- Berbeban
 - a) Putaran motor
 - b) Torsi motor
 - c) Input Power
 - d) Output Power
 - e) Efisiensi
 - f) Arus
 - g) Faktor daya ($\cos \Phi$)
 - h) Tegangan
 - i) Frekuensi

3.3.2 Tahapan Pengujian

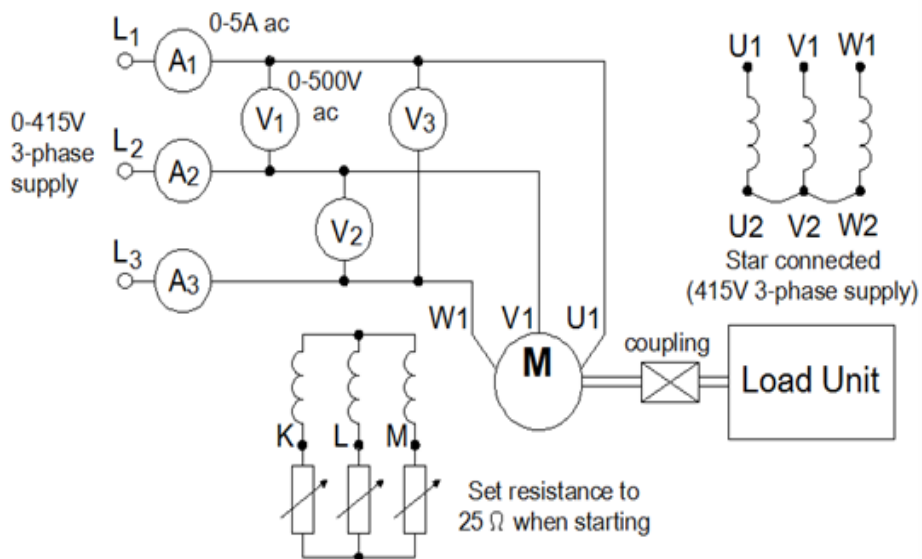
Pada tahap pengujian ini akan dilakukan proses perakitan peralatan yang akan dilanjutkan dengan langkah-langkah sesuai prosedur percobaan yang digunakan dalam proses pengujian. Berikut beberapa rangkaian percobaan dalam proses perakitan peralatan :

1. Rangkaian Percobaan Tanpa Beban



Gambar 3. 13 Rangkaian Percobaan Tanpa Beban

2. Rangkaian Percobaan Berbeban



Gambar 3. 14 Rangkaian Percobaan Berbeban

1. Percobaan Tanpa Beban

- Rangkai peralatan percobaan seperti gambar diatas.
- Hidupkan *Three Phase Supply Control 60-100*.
- Hidupkan *Single & Three Phase Measurement 68-100*.
- Baca Frekuensi, Daya, Tegangan line, Tegangan Fasa, Arus Line, Arus Fasa, $\cos \Phi$ pada *Single & Three Phase Measurement 68-100*.
- Baca putaran motor menggunakan alat *tachometer*.
- Baca tahanan kumparan jangkar menggunakan multimeter digital.
- Kita dapat membandingkan daya yang didapat dengan perhitungan rumus, apakah mendekati atau tidak.
- Setelah kita mendapatkan data tersebut barulah kita dapat menentukan torsi dengan menggunakan rumus torsi.
- Catat seluruh hasil yang didapat.
- Ulangi pengambilan data sebanyak 25 kali percobaan pada hambatan 25-0 Ω
- Percobaan selesai.

2. Percobaan Berbeban

- Rangkai peralatan percobaan seperti gambar diatas.
- Hidupkan *Three Phase Supply Control 60-100*.
- Hidupkan *Single & Three Phase Measurement 68-100*.
- Atur torsi pada dynamometer menggunakan *Variable AC/DC Supply 5A 60-121*.
- Pada pembebanan percobaan 1, atur torsi pada 0,2 Nm, 0,4 Nm, 0,6 Nm, 0,8Nm.

- f) Amati hasil putaran pada variasi torsi tersebut.
- g) Pada pembebanan percobaan 2, atur hambatan pada 25Ω dan 0Ω .
- h) Amati hasil putaran pada hambatan 25Ω tersebut.
- i) Amati daya input dan daya output.
- j) Setelah kita mendapatkan data tersebut barulah kita dapat menentukan efisiensi dengan menggunakan rumus efisiensi.
- k) Catat seluruh hasil yang didapat.
- l) Percobaan selesai.

3.3.3 Pengambilan Data

Data yang dibutuhkan dicari dengan melakukan pengukuran beberapa parameter yang diperlukan sesuai dengan variabel yang diamati untuk melakukan perhitungan dan menganalisa performa dari motor tersebut jika dibebani beban dan tanpa beban. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar kita dapat mengetahui karakter dari motor asinkron 3 fasa rotor belit secara praktikal bukan hanya secara teoritisnya saja.

3.3.4 Perhitungan Data dan Analisa Data

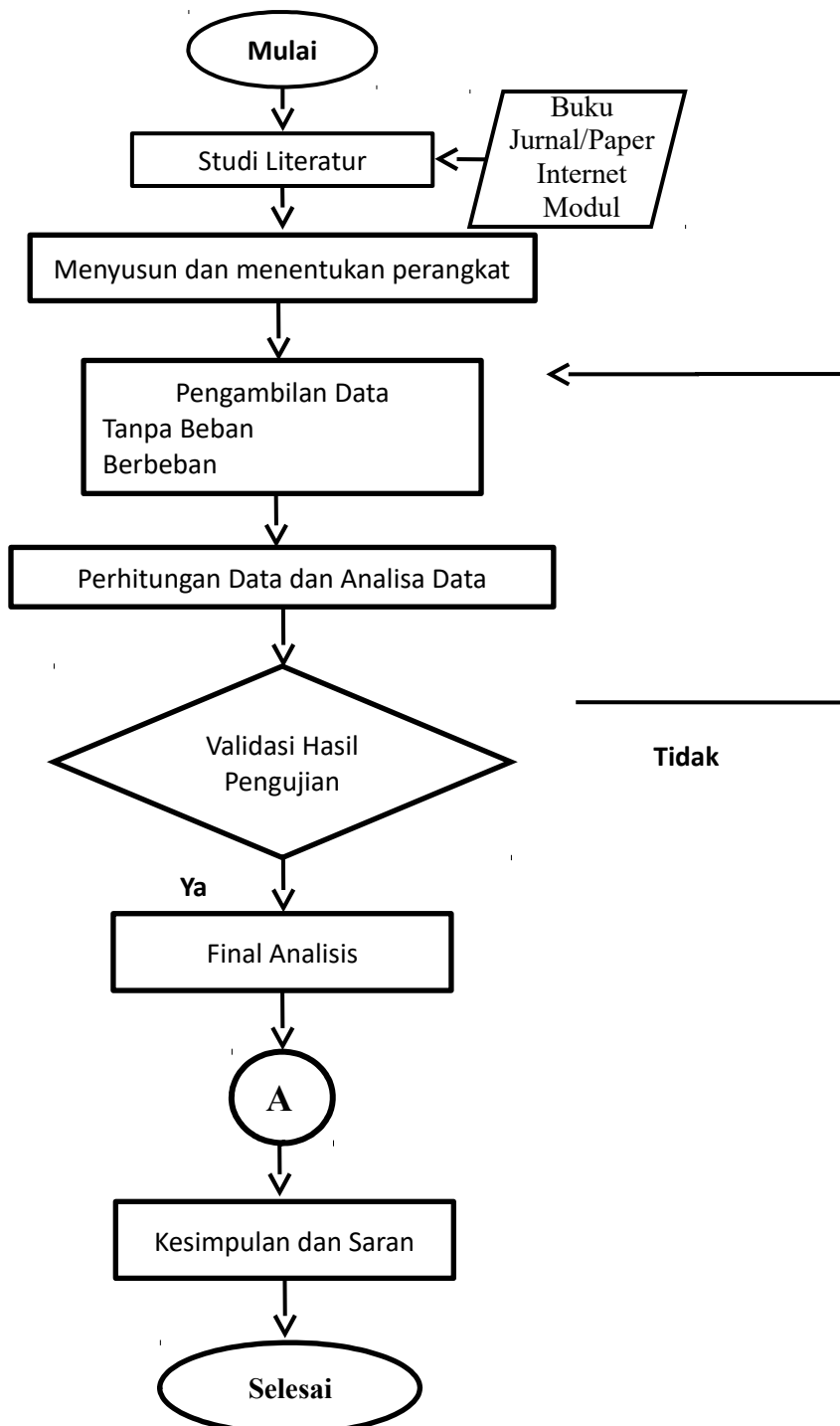
Perhitungan data dan analisa data dilakukan untuk mendapatkan seberapa besar performa dari motor asinkron 3 fasa rotor belit yang dihubungkan dengan berbeban dan tanpa beban yang nantinya akan dibuatkan grafik guna lebih mudah dalam pembacaannya.

3.3.5 Final Analisis

Final analisis dilakukan untuk mendapatkan nilai dari performa motor asinkron 3 fasa rotor belit yang paling tinggi.

3.3.6 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan rangkuman dari penulisan tugas akhir dan merupakan jawaban dari rumusan masalah yang telah disusun pada bab pertama dalam tugas akhir ini. Saran diberikan oleh penulis untuk menjadi rujukan tentang kendala-kendala yang terdapat dalam proses penulisan tugas akhir ini.

Flow Chart Metodologi Penelitian

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada tahapan analisa dan pembahasan mengenai analisa performa motor asinkron 3 fasa rotor belit feedback tipe no.243, penulis pertama-tama melakukan pembelajaran terhadap modul yang dikeluarkan pabrikan feedback disana terdapat penjelasan mengenai komponen yang digunakan untuk praktikum motor asinkron 3 fasa rotor belit feedback tipe no.243 dan juga tata cara dalam melakukan kegiatan praktikum guna pengambilan data yang digunakan untuk analisa pada pembahasan kali ini. Data yang diambil pada saat praktikum adalah arus Tegangan line (V_{Line}), Tegangan fasa (V_{Fasa}), Frekuensi, Faktor daya ($\cos \Phi$), Daya, Arus line (I_{Line}), Arus fasa (I_{Fasa}), Tahanan kumparan jangkar, Putaran motor, Torsi motor, Input Power, Output Power, Efisiensi, Tahanan Isolasi. Pada praktikum ini digunakan dua metode yaitu dengan kondisi motor berbeban dan tanpa beban, untuk motor berbeban digunakan dynamometer sebagai bebannya. Selain itu juga mengukur tahanan isolasi dengan menggunakan insulation tester guna dapat menentukan kondisi motor tersebut masih dalam kondisi baik atau tidak sebelum digunakan.

Setelah mendapatkan seluruh data yang sekiranya diperlukan sela praktikum maka selanjutnya akan dilaksanakan perhitungan untuk mengetahui performa dari motor asinkron 3 fasa rotor belit yaitu mulai dari perhitungan daya masukan dan daya keluaran motor dan juga dilakukan perhitungan torsi yang dihasilkan motor, juga dilakukan perhitungan efisiensi motor guna untuk mengetahui bagaimana kondisi motor saat ini apakah masih dalam kondisi baik ataupun kurang baik setelah lama tidak dipergunakan dan apakah berdampak pada performanya. Selain itu juga mengukur tahanan isolasi dengan menggunakan insulation tester guna dapat menentukan kondisi motor tersebut masih dalam kondisi baik atau tidak sebelum digunakan. Pada BAB ini juga dilakukan analisa grafik guna mengetahui hubungan dari parameter – parameter yang telah dihitung guna menarik kesimpulan pada akhir pengerjaan tugas akhir ini.

4.1 Standarisasi IEEE stds 43

Tes resistansi isolasi (IR) dilakukan sebagaimana ditentukan oleh IEEE stds. 43. Uji tegangan diterapkan selama satu menit. Nilai tegangan yang diterapkan sebagaimana didefinisikan dalam IEEE stds. 43. Bacaan dicatat dalam Meg-ohm dan dikoreksi ke 40°C. (Catatan: perangkat lunak kami melakukan koreksi ini hanya dengan memasukkan suhu lingkungan). Tegangan diterapkan ditetapkan sebagai berikut:

Tabel 4. 1 IEEE 43, Guidelines for dc voltages to be applied during insulation resistance test

Winding rated voltage (V)	Insulation resistance test direct voltage (V)
<1000	500
1000-2500	500-1,000
2501-5000	1000-2,500
5001-12 000	2500-5,000
>12 000	5000-10,000

Tabel 4. 2 IEEE 43, Recommended minimum insulation resistance value at 40°

Minimum Insulation Resistance	Test Specimen
IR1 min = kV + 1	For most windings made before about 1970, all field windings, and others not described below
IR1 min = 100	For most dc armature and ac windings built after about 1970 (form wound coils)
IR1 min = 5	For most machines with random-wound stator coils and form wound coils rated below 1 kV

NOTES

1—IR1 min is the recommended minimum insulation resistance, in meg-ohms, at 40 °C of the entire machine winding

2—kV is the rated machine terminal to terminal voltage, in rms kV

Note: Bearing insulation is tested in similar manner with a 500V meg-ohmmeter. Insulation resistance should be 1 meg-ohm or greater (EASA AR-100).

4.2 Data Hasil Percobaan

Percobaan penelitian motor asinkron 3 fasa rotor belit ini dilakukan pada tanggal 6 Maret 2017 sampai selesai di Laboratorium Listrik Kapal dan Sistem Otomasi, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya sehingga diperoleh data sebagai berikut :

4.2.1 Tahanan Isolasi

Tabel 4. 3 Hasil tahanan isolasi

Nilai Tahanan Isolasi		Nilai Standar (I.E.E.E.) Thn. Pembuatan motor > 1970	Keterangan
K – K	500 MΩ	IR1 min > 100 MΩ	Menurut standarisasi I.E.E.E, nilai tahanan isolasi yang dimiliki Motor Asinkron 3 Fasa Rotor Belit ini masih bagus karena > dari 100 MΩ
Kondisi Bearing: Bagus		Untuk kondisi bearing dari Motor Asinkron 3 fasa rotor belit ini sendiri dalam keadaan baik, karena tidak terdengar suara gesekan dari bearing pada motor ini, atau terdengar smooth.	

Pembahasan :

Pada motor asinkron 3 fasa rotor belit kumparan jangkar pada stator ($U1-U2 = 34.5 \Omega$, $V1-V2 = 34.5 \Omega$, $W1-W2 = 34.5 \Omega$). Motor 3 fasa rotor belit juga memiliki tahanan isolasi ($K-K = 500M\Omega$).

Kondisi bearing dari Motor Asinkron 3 fasa rotor belit dalam keadaan baik, karena tidak terdengar suara gesekan dari bearing pada motor ini sehingga pada saat motor asinkron ini berputar tidak terjadinya atau timbulnya getaran pada motor karena putaran pada bearing halus sehingga putaran motor dapat maksimal.

4.2.2 Percobaan Tanpa Beban

a. Motor dengan hambatan $25\Omega - 21\Omega$

Tabel 4. 4 Data Percobaan Tanpa beban pada hambatan $25\Omega-21\Omega$

Resistance	Frek	Daya				
(Ω)	(Hz)	(Watt)				
25	50	58				
24	50	58				
23	50	58				

I line	I phase (I				
(A)	R	S			
0,258	0,302	0,302			
0,263	0,301	0,305			
0,271	0,301	0,305			

b. Motor dengan hambatan $20\Omega - 16\Omega$

Tabel 4. 5 Data Percobaan Tanpa beban pada hambatan $20\Omega-16\Omega$

Resistance	Frek	Daya				
(Ω)	(Hz)	(Watt)				
20	50	58				
19	50	58				
18	50	58				

I line	I phase (I				
(A)	R	S			
0,289	0,302	0,304			
0,295	0,302	0,304			
0,298	0,302	0,306			

c. Motor dengan hambatan $15\Omega - 11\Omega$

Tabel 4. 6 Data Percobaan Tanpa beban pada hambatan 15 Ω -11 Ω

Resistance	Frek	Daya				
(Ω)	(Hz)	(Watt)				
15	50	58				
14	50	58				
13	50	58				

I line	I phase (I)				
(A)	R	S			
0,308	0,305	0,31			
0,306	0,302	0,309			
0,311	0,302	0,305			

d. Motor dengan hambatan 10 Ω - 6 Ω Tabel 4. 7 Data Percobaan Tanpa beban pada hambatan 10 Ω -6 Ω

Resistance	Frek	Daya				
(Ω)	(Hz)	(Watt)				
10	50	58				
9	50	58				
8	50	58				

I line	I phase (I)				
(A)	R	S			
0,326	0,31	0,311			
0,331	0,308	0,308			
0,333	0,293	0,312			

e. Motor dengan hambatan 5 Ω – 0 Ω

Tabel 4. 8 Data Percobaan Tanpa beban pada hambatan 5Ω - 0Ω

Resistance (Ω)	Frek (Hz)	Daya (Watt)				
5	50	58				
4	50	58				
3	50	58				

Time (A)	I phase (A)				
	R	S			
0,345	0,303	0,307			
0,348	0,293	0,299			
0,352	0,291	0,295			

4.2.3 Percobaan Berbeban

a. Motor dengan hambatan 25Ω

- 25Ω Pada Pembebanan

Tabel 4. 9 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 25Ω

	P (Watt)	Cos ϕ	
20	22,43	0,51	
40	47,37	0,51	
60	70,00	0,51	

P_{in} (Watt)	Torsi (Nm)	Efficiency %	
102,0	0,13	0,22	
103,0	0,55	0,55	
110,0	1,43	0,75	

- 25Ω Pada Display

Tabel 4. 10 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 25Ω

	Frek (Hz)	Daya (Watt)			
0	50	112			
20	50	116			
40	50	122			

b. Motor dengan hambatan 20Ω

- 20Ω Pada Pembebanan

Tabel 4. 11 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 20Ω

	P {Watt}	Cos φ	
20	22,27	0,51	
40	49,73	0,51	
60	68,33	0,51	

P in	Torsi	Efficiency	
{Watt}	{Nm}	%	
115,9	0,11	0,19	
116,0	0,49	0,53	
116,7	1,10	0,68	

- 20 Ω Pada Display

Tabel 4. 12 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 20Ω

	Frek	Daya			
	{Hz}	{Watt}			
0	50	112			
20	50	116			
40	50	122			

c. **Motor dengan hambatan 15Ω**

- 15 Ω Pada Pembebanan

Tabel 4. 13 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 15Ω

	P (Watt)	Cos ϕ	
20	22,21	0,51	
40	49,72	0,51	
60	68,25	0,51	

P_{in} (Watt)	Torsi (Nm)	Effienc %	
108,5	0,10	0,20	
109,0	0,37	0,52	
111,3	1,00	0,67	

- 15Ω Pada Display

Tabel 4. 14 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 15Ω

	Frek (Hz)	Daya (Watt)			
0	50	112			
20	50	116			
40	50	122			

d. **Motor dengan hambatan 10Ω**

- 10Ω Pada Pembebanan

Tabel 4. 15 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 10Ω

	P {Watt}	Cos φ	
20	22,04	0,51	
40	49,51	0,51	
60	67,73	0,51	

P in	Torsi	Effienc	
{Watt}	{Nm}	%	
107,2	0,09	0,21	
108,0	0,36	0,55	
109,0	0,77	0,70	

- 10 Ω Pada Display

Tabel 4. 16 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 10Ω

	Frek	Daya			
	{Hz}	{Watt}			
0	50	112			
20	50	116			
40	50	122			

e. **Motor dengan hambatan 5Ω**

- 5 Ω Pada Pembebanan

Tabel 4. 17 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 5Ω

	P {Watt}	Cos	
20	22,08	0,51	
40	49,16	0,51	
60	67,18	0,51	

Pin	Torsi	Effien	
{Watt}	{Nm}	%	
105,6	0,09	0,21	
106,0	0,28	0,52	
110,0	0,66	0,71	

- 5Ω Pada Display

Tabel 4. 18 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 5Ω

	Frek	Daya			
	{Hz}	{Watt}			
0	50	112			
20	50	116			
40	50	122			

f. Motor dengan hambatan 0Ω

- 0Ω Pada Pembebanan

Tabel 4. 19 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 0Ω

	P {Watt}	Cos ϕ	
20	21,84	0,51	
40	48,58	0,51	
60	66,08	0,51	

Pin	Torsi	Effien	
{Watt}	{Nm}	%	
94,1	0,08	0,23	
95,0	0,31	0,63	
100,0	0,60	0,79	

- 0Ω Pada Display

Tabel 4. 20 Data Percobaan Berbeban pada hambatan 0Ω

	Frek	Daya	V		
	{Hz}	{Watt}			
0	50	112			
20	50	116			
40	50	122			

4.3 Perhitungan Data

4.3.1 Tanpa Beban

a. Percobaan pertama pada hambatan $25\Omega - 21\Omega$

Dari percobaan pertama tanpa beban pada hambatan 25Ω didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- Frekuensi = 50 Hz
- Daya = 58 watt
- $V_{Line} = 383$ Volt
- $V_{Fasa} =$
 - R = 382 Volt
 - S = 385 Volt
 - T = 383 Volt
- $I_{Line} = 0,258$ Ampere
- $I_{Fasa} =$
 - R = 0,3 Ampere
 - S = 0,3 Ampere
 - T = 0,3 Ampere
- Putaran = 2509 rpm
- $\cos \phi = 0.34$

Dari data di atas kita dapat membandingkan daya yang kita dapat dari display dengan perhitungan daya, dan kita juga dapat menghitung torsi dari motor tersebut :

▪ Perhitungan daya

$$\begin{aligned}
 \text{Daya} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \\
 &= \sqrt{3} \times 383 \times 0,258 \times 0,34 \\
 &= 58.122 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

▪ Perhitungan Torsi

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{P}{2 \pi (rps)}$$

$$T = \frac{58}{2 \pi (41,8)}$$

$$T = 0,22 \text{ Nm}$$

Untuk percobaan kedua pada hambatan 24Ω sampai dengan kelima pada hambatan 21Ω dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel berikut :

Tabel 4. 21 Hasil Analisa Percobaan Tanpa Beban Pada Hambatan 25Ω - 21Ω

Resistance	Frek	Daya				
(Ω)	(Hz)	(Watt)				
25	50	58				
24	50	58				
23	50	58				

I line	I phase (I					
(A)	R	S				
0,258	0,302	0,302				
0,263	0,301	0,305				
0,271	0,301	0,305				

b. Percobaan kedua pada hambatan 20Ω - 16Ω

Dari percobaan tanpa beban pada hambatan 20Ω didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- Frekuensi = 50 Hz
- Daya = 58 watt
- V_{Line} = 385 Volt
- V_{Fasa} =
 - R = 383 Volt
 - S = 385 Volt
 - T = 385 Volt
- I_{Line} = 0,289 Ampere
- I_{Fasa} =
 - R = 0,3 Ampere
 - S = 0,3 Ampere
 - T = 0,3 Ampere
- Putaran = 2619 rpm
- $\cos \varphi$ = 0,32

Dari data di atas kita dapat membandingkan daya yang kita dapat dari display dengan perhitungan daya, dan kita juga dapat menghitung torsi dari motor tersebut :

- Perhitungan daya

$$\begin{aligned}\text{Daya} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\ &= \sqrt{3} \times 385 \times 0,289 \times 0,32 \\ &= 61.5 \text{ watt}\end{aligned}$$

- Perhitungan Torsi

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{P}{2\pi(rps)}$$

$$T = \frac{58}{2\pi(43,65)}$$

$$T = 0,21 \text{ Nm}$$

Untuk percobaan kedua pada hambatan 19Ω sampai dengan kelima pada hambatan 16Ω dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel berikut :

Tabel 4. 22 Hasil Analisa Percobaan Tanpa Beban Pada Hambatan 20Ω - 16Ω

Resistance	Frek	Daya				
(Ω)	(Hz)	(Watt)				
20	50	58				
19	50	58				
18	50	58				

Time	I phase (A)					
(A)	R	S				
0,289	0,302	0,304				
0,295	0,302	0,304				
0,298	0,302	0,306				

c. Percobaan ketiga pada hambatan 15Ω - 11Ω

Dari percobaan tanpa beban pada hambatan 15Ω didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- Frekuensi = 50 Hz
- Daya = 58 watt
- $V_{Line} = 387$ Volt
- $V_{Fasa} =$
 - R = 386 Volt
 - S = 388 Volt
 - T = 387 Volt
- $I_{Line} = 0,303$ Ampere
- $I_{Fasa} =$
 - R = 0,3 Ampere
 - S = 0,3 Ampere
 - T = 0,3 Ampere
- Putaran = 2709 rpm
- $\cos \varphi = 0.3$

Dari data di atas kita dapat membandingkan daya yang kita dapat dari display dengan perhitungan daya, dan kita juga dapat menghitung torsi dari motor tersebut :

▪ Perhitungan daya

$$\begin{aligned}
 \text{Daya} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\
 &= \sqrt{3} \times 387 \times 0,303 \times 0,3 \\
 &= 60.85 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

▪ Perhitungan Torsi

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{P}{2\pi(rps)}$$

$$T = \frac{58}{2\pi(45.15)}$$

$$T = 0,20 \text{ Nm}$$

Untuk percobaan kedua pada hambatan 14Ω sampai dengan kelima pada hambatan 11Ω dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel berikut :

Tabel 4. 23 Hasil Analisa Percobaan Tanpa Beban Pada Hambatan 15Ω - 11Ω

Resistance	Frek	Daya				
(Ω)	(Hz)	(Watt)				
15	50	58				
14	50	58				
13	50	58				

I _{line}	I _{phase} (I)					
(A)	R	S				
0,308	0,305	0,31				
0,306	0,302	0,309				
0,311	0,302	0,305				

d. Percobaan keempat pada hambatan 10Ω - 6Ω

Dari percobaan tanpa beban pada hambatan 10Ω didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- Frekuensi = 50 Hz
- Daya = 58 watt
- V_{Line} = 386 Volt
- V_{Fasa} =
 - R = 386 Volt
 - S = 388 Volt
 - T = 387 Volt
- I_{Line} = 0,326 Ampere
- I_{Fasa} =
 - R = 0,3 Ampere
 - S = 0,3 Ampere
 - T = 0,3 Ampere
- Putaran = 2789 rpm
- $\cos \varphi$ = 0.29

Dari data di atas kita dapat membandingkan daya yang kita dapat dari display dengan perhitungan daya, dan kita juga dapat menghitung torsi dari motor tersebut :

- Perhitungan daya

$$\begin{aligned}
 \text{Daya} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\
 &= \sqrt{3} \times 386 \times 0,326 \times 0,43 \\
 &= 63,13 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Torsi

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{P}{2\pi(rps)}$$

$$T = \frac{58}{2\pi(46.48)}$$

$$T = 0,198 \text{ Nm}$$

Untuk percobaan kedua pada hambatan 9Ω sampai dengan kelima pada hambatan 6Ω dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel berikut :

Tabel 4. 24 Hasil Analisa Percobaan Tanpa Beban Pada Hambatan 10Ω - 6Ω

Resistance	Frek	Daya				
(Ω)	(Hz)	(Watt)				
10	50	58				
9	50	58				
8	50	58				

I line	I phase (I)					
(A)	R	S				
0,326	0,31	0,311				
0,331	0,308	0,308				
0,333	0,293	0,312				

e. Percobaan kelima pada hambatan 5Ω - 0Ω

Dari percobaan tanpa beban pada hambatan 5Ω didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- Frekuensi = 50 Hz
- Daya = 58 watt
- $V_{Line} = 386$ Volt
- $V_{Fasa} =$
 - R = 388 Volt
 - S = 390 Volt
 - T = 390 Volt
- $I_{Line} = 0,345$ Ampere
- $I_{Fasa} =$
 - R = 0,3 Ampere
 - S = 0,3 Ampere
 - T = 0,3 Ampere
- Putaran = 2858 rpm
- $\cos \varphi = 0.28$

Dari data di atas kita dapat membandingkan daya yang kita dapat dari display dengan perhitungan daya, dan kita juga dapat menghitung torsi dari motor tersebut :

▪ Perhitungan daya

$$\begin{aligned}
 \text{Daya} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\
 &= \sqrt{3} \times 386 \times 0,345 \times 0,28 \\
 &= 64.507 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

▪ Perhitungan Torsi

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{P}{2 \pi (rps)}$$

$$T = \frac{58}{2 \pi (47,63)}$$

$$T = 0,193 \text{ Nm}$$

Untuk percobaan kedua pada hambatan 4Ω sampai dengan kelima pada hambatan 0Ω dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel berikut :

Tabel 4. 25 Hasil Analisa Percobaan Tanpa Beban Pada Hambatan $5\Omega - 0\Omega$

Resistance (Ω)	Frek (Hz)	Daya (Watt)				
5	50	58				
4	50	58				
3	50	58				

4.3.2 Percobaan Berbeban

a. Percobaan pertama hambatan 25Ω dan pada beban 22,43 watt

Dari percobaan pertama berbeban hambatan 25Ω dan pada beban 22,43 watt didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- Pada Pembebanan
 - $P = 22,43$ watt
 - Putaran = 1662 Rpm
- Pada Display
 - Frekuensi = 50 Hz
 - Daya = 116 Watt
 - $V_{Line} = 382$ Volt
 - $I_{Line} = 0,352$ Ampere
 - $\cos \varphi = 0,51$

Dari data di atas kita dapat membandingkan daya yang kita dapat dari display dengan perhitungan daya, dan kita juga dapat menghitung torsi, masukan daya, keluaran daya, dan efisiensi dari motor tersebut :

- Perhitungan masukan daya

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\
 &= \sqrt{3} \times 382 \times 0,352 \times 0,51 \\
 &= 102 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan keluaran daya

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= (2 \times \pi \times N \times T) / 60 \\
 &= (2 \times 3,14 \times 1662 \times 0,13) / 60 \\
 &= 22,43 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Torsi

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{P}{2\pi(rps)}$$

$$T = \frac{22,43}{2\pi(27,70)}$$

$$T = 0,13 \text{ Nm}$$

- Perhitungan Efisiensi

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$\eta = \frac{22,43}{102,0}$$

$$\eta = 0,22 \%$$

Untuk percobaan selanjutnya pada hambatan 20Ω, 15Ω, 10Ω, 5Ω, sampai dengan hambatan 0Ω dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas.

b. Perhitungan Slip Loss

Putaran motor slip-ring dapat divariasikan dengan resistansi eksternal. Torsi dapat dipertahankan pada nilai berapapun sampai torsi *pull-out* di seluruh rentang kecepatan dengan menyesuaikan berbagai hambatan eksternal. Pada putaran yang lebih rendah, efisiensi motor akan menurun, karena proporsinya sebanding dengan putaran. Efisiensi dapat dihitung dengan perbandingan dari dua putaran, yaitu :

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{N_{r2}}{N_{r1}}$$

Meskipun demikian, pengurangan kecepatan melalui hambatan akan memperburuk kinerja motor. Sebagai contoh kipas pendingin yang dioperasikan pada putaran rendah akan mengakibatkan performa pendinginan menurun. Karena $kW \propto N_r$. T, kW akan bervariasi dengan putaran, torsi yang tersisa hampir sama dengan rentang putaran. Motor akan disupply pada daya yang sama dengan sebelumnya, dalam artian pada variasi putaran tertentu akan menyebabkan slip loss pada sirkuit rotor. Misalnya, pada slip 25%, output daya akan menjadi 75% dikurangi efek pendinginan dan 25% output daya akan muncul sebagai slip loss pada rangkaian rotor.

Slip loss dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

slip loss = $S \cdot P_s$. Jika slip motor pada keadaan full load adalah S dan kecepatannya bervariasi untuk slip S1. Daya tambahan karena slip loss didefinisikan sebagai :

$$\begin{aligned} \text{Slip loss} &= P_s (S1 - S) \\ &= kW (S1 - S) \text{ (mengabaikan kerugian rotor).} \end{aligned}$$

Dari percobaan berbeban pada hambatan 25Ω didapatkan beberapa data sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Load} &= 22,43 \text{ Watt} \\ P &= 102 \text{ Watt} \\ \text{NS1} &= 1662 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

$$NS0 = 2613 \text{ Rpm}$$

Dari data di atas kita dapat menghitung :

$$S1 = (3000 - NS1) / 3000 \\ = 0,45$$

$$S0 = (3000 - NS0) / 3000 \\ = 0,13$$

$$\text{Slip loss} = P \times (S1 - S0) \\ = 102 \times (0,45 - 0,13) \\ = 32,33 \text{ Watt}$$

Tabel 4. 26 Hasil Analisa Slip Loss Percobaan Pada Hambatan 25Ω

Load	P	NS1				
{Watt}	{Watt}	{Rpm}	{I}			
22,43	102,00	1662	:			
47,37	103,00	1519	:			
73,73	110,00	1450	:			

Untuk selanjutnya dilanjutkan percobaan pada hambatan 20Ω , 15Ω , 10Ω , dan 5Ω .

4.4 Analisa Grafik

perhitungan dari beberapa faktor yang mempengaruhi dari tugas akhir ini tentang analisa dari motor asinkron 3 fasa rotor belit. Maka tahapan selanjutnya adalah membuat grafik dari parameter yang telah dihitung guna mengetahui hubungan antara tiap – tiap parameter tersebut. Dalam menganalisa grafik akan dibagi menjadi dua jenis yaitu motor tanpa beban dan motor berbeban sebab untuk mengetahui karakter dari motor kita harus menganalisa perubahan kondisi motor pada saat tidak dibebani dan pada saat dibebani dengan variabel yang telah ditentukan sebelumnya.

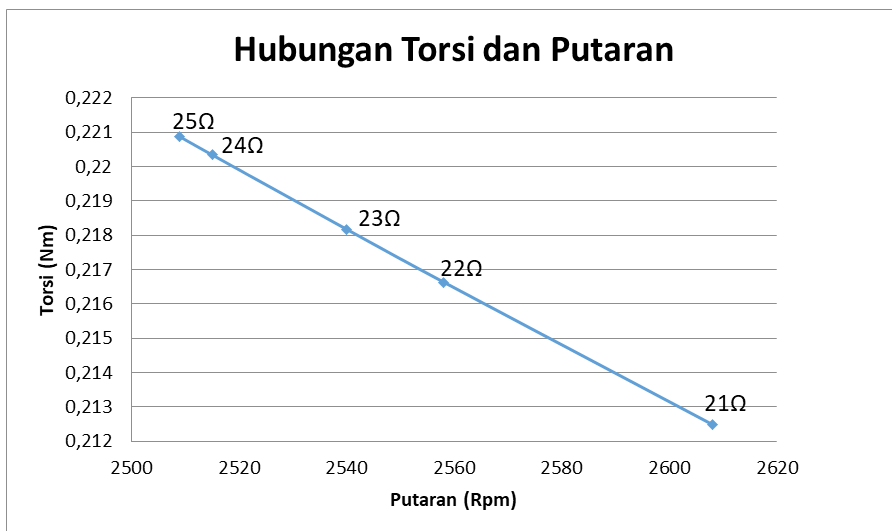
4.4.1 Motor Tanpa Beban

Pada sub-bab ini akan dibuat grafik hubungan antara beberapa parameter pada saat motor tidak berbeban. Setelah dibuat grafik akan dianalisa hubungan antara parameter tersebut guna mempelajari karakter dari motor. Grafik yang dibuat berdasarkan data hasil perhitungan dari torsi motor dan putaran motor.

❖ Hubungan antara Torsi dan Putaran

a) Hubungan antara Torsi dan Putaran pada hambatan 25Ω - 21Ω

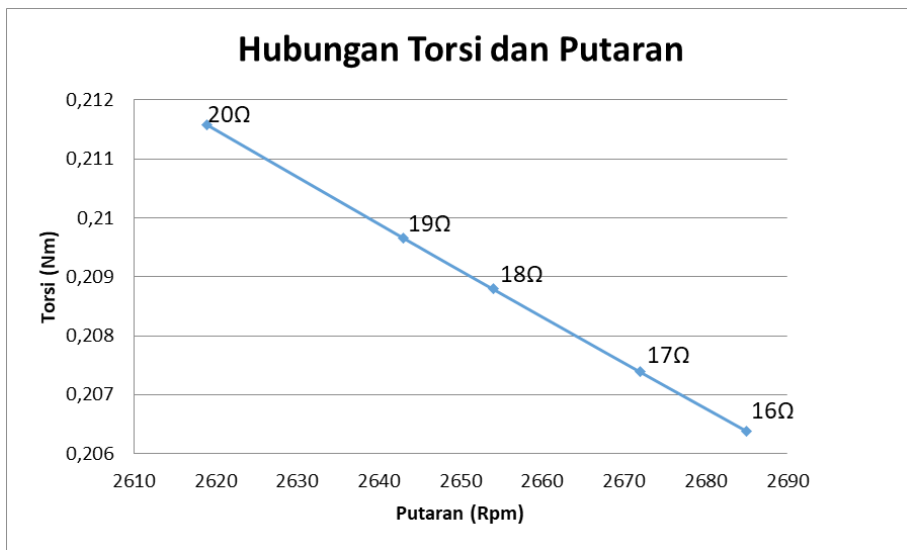
Pada tahapan ini adalah pembuatan analisa mengenai hubungan antar torsi dengan putaran hal ini dimaksudkan agar mengetahui hubungan antara torsi dengan kecepatan motor. Pada pembuatan grafik nilai dari torsi dan putaran didapatkan dari praktikum yang sebelumnya telah dilakukan. Dalam pembuatan grafik dilakukan pada motor dengan hambatan 25Ω - 21Ω . Grafik yang telah dibuat terlampir pada grafik 4.1.



Grafik 4. 1 Hubungan antara Torsi dengan Putaran pada hambatan 25Ω - 21Ω

Pada grafik 4.1. dapat dilihat bahwa nilai dari putaran akan terus naik setiap diturunkan hambatannya, mulai dari hambatan 25Ω sampai diturunkan ke hambatan 21Ω . Sedangkan untuk nilai dari torsi disini, dapat kita lihat nilai torsi nya menurun setiap kita turunkan hambatannya. Baik diturunkan mulai hambatan 25Ω - 21Ω , Hal ini sesuai dengan rumus torsi yaitu $T = P / (2 \times \pi \times rps)$ dimana apabila nilai dari putaran dinaikkan, untuk nilai dari torsi akan menurun.

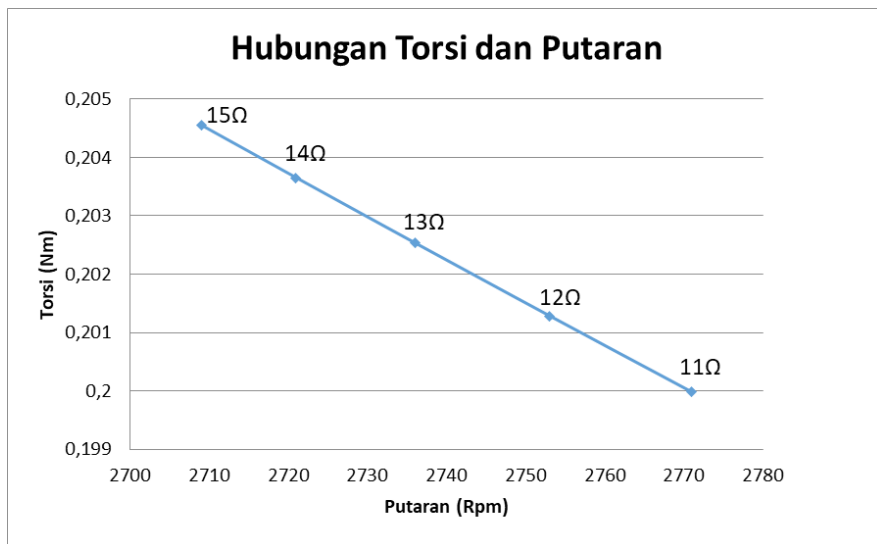
b) Hubungan antara Torsi dan Putaran pada hambatan $20\Omega - 16\Omega$



Grafik 4. 2 Hubungan antara Torsi dengan Putaran pada hambatan 20Ω - 16Ω

Pada grafik 4.2. dapat dilihat bahwa nilai dari putaran akan terus naik setiap diturunkan hambatannya, mulai dari hambatan 20Ω sampai diturunkan ke hambatan 16Ω . Sedangkan untuk nilai dari torsi disini, dapat kita lihat nilai torsi nya menurun setiap kita turunkan hambatannya. Baik diturunkan mulai hambatan $20\Omega - 16\Omega$, Hal ini sesuai dengan rumus torsi yaitu $T = P / (2 \times \pi \times rps)$ dimana apabila nilai dari putaran dinaikkan, untuk nilai dari torsi akan menurun.

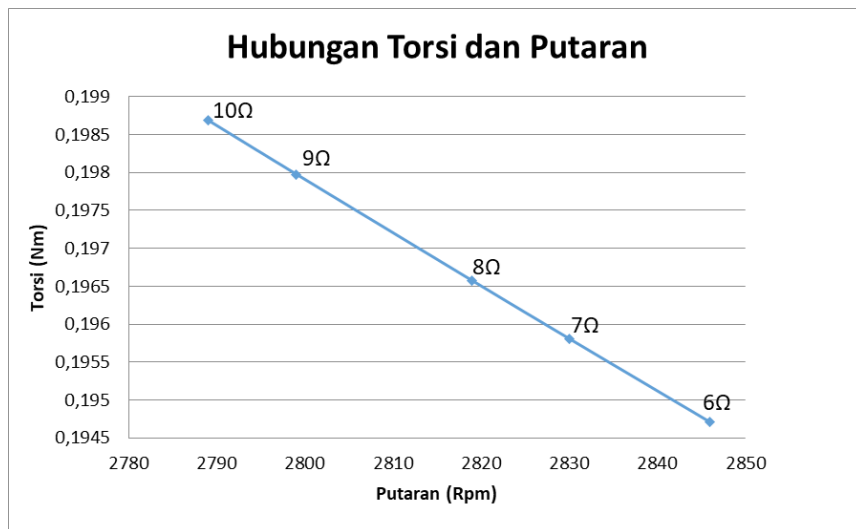
c) **Hubungan antara Torsi dan Putaran pada hambatan 15Ω – 11Ω**



Grafik 4. 3 Hubungan antara Torsi dengan Putaran pada hambatan 15Ω-11Ω

Pada grafik 4.3. dapat dilihat bahwa nilai dari putaran akan terus naik setiap diturunkan hambatannya, mulai dari hambatan 15Ω sampai diturunkan ke hambatan 11Ω . Sedangkan untuk nilai dari torsi disini, dapat kita lihat nilai torsinya menurun setiap kita turunkan hambatannya. Baik diturunkan mulai hambatan 15Ω - 11Ω, Hal ini sesuai dengan rumus torsi yaitu $T = P / (2 \times \pi \times rps)$ dimana apabila nilai dari putaran dinaikkan, untuk nilai dari torsi akan menurun.

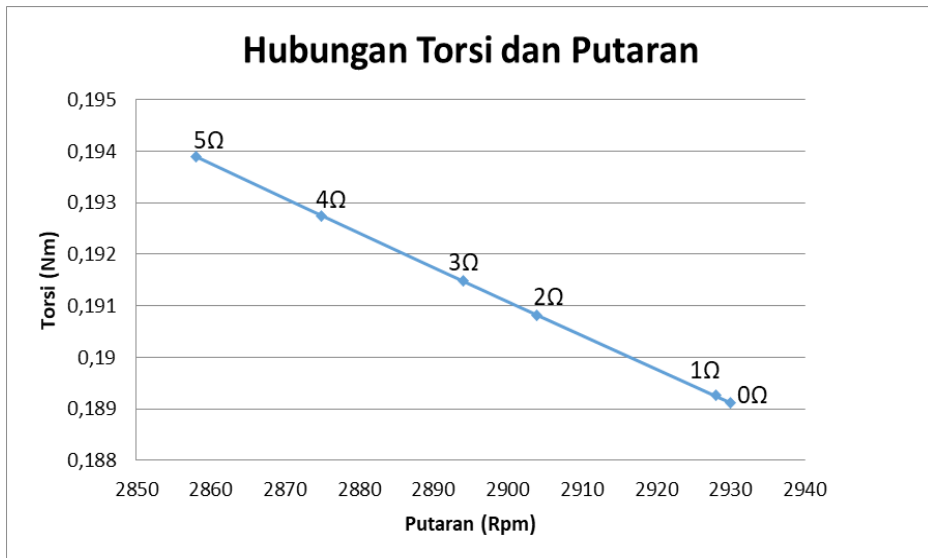
d) **Hubungan antara Torsi dan Putaran pada hambatan 10Ω – 6Ω**



Grafik 4. 4 Hubungan antara Torsi dengan Putaran pada hambatan 10Ω-6Ω

Pada grafik 4.4. dapat dilihat bahwa nilai dari putaran akan terus naik setiap diturunkan hambatannya, mulai dari hambatan 10Ω sampai diturunkan ke hambatan 6Ω . Sedangkan untuk nilai dari torsi disini, dapat kita lihat nilai torsi nya menurun setiap kita turunkan hambatannya. Baik diturunkan mulai hambatan 10Ω - 6Ω, Hal ini sesuai dengan rumus torsi yaitu $T = P / (2 \times \pi \times rps)$ dimana apabila nilai dari putaran dinaikkan, untuk nilai dari torsi akan menurun.

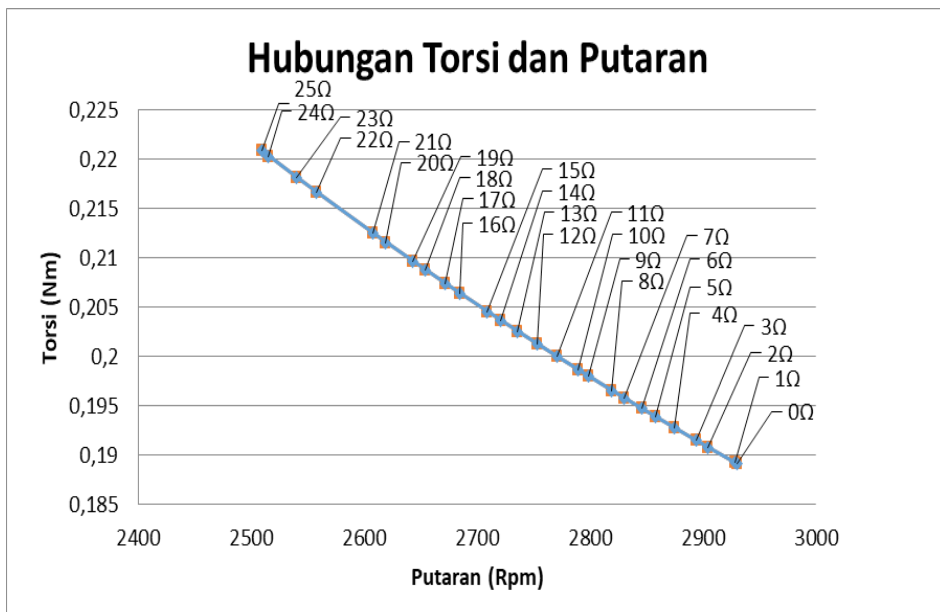
e) **Hubungan antara Torsi dan Putaran pada hambatan $5\Omega - 0\Omega$**



Grafik 4. 5 Hubungan antara Torsi dengan Putaran pada hambatan $5\Omega-0\Omega$

Pada grafik 4.5. dapat dilihat bahwa nilai dari putaran akan terus naik setiap diturunkan hambatannya, mulai dari hambatan 5Ω sampai diturunkan ke hambatan 0Ω . Sedangkan untuk nilai dari torsi disini, dapat kita lihat nilai torsinya menurun setiap kita turunkan hambatannya. Baik diturunkan mulai hambatan $5\Omega - 0\Omega$, Hal ini sesuai dengan rumus torsi yaitu $T = P / (2 \times \pi \times rps)$ dimana apabila nilai dari putaran dinaikkan, untuk nilai dari torsi akan menurun.

f) **Hubungan antara Torsi dan Putaran pada hambatan $25\Omega - 0\Omega$**



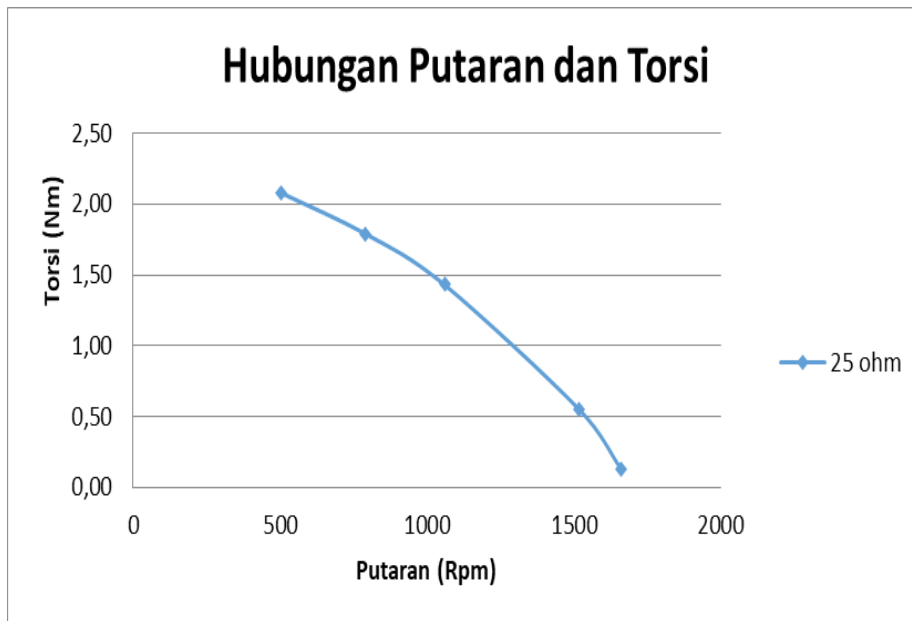
Grafik 4. 6 Hubungan antara Torsi dengan Putaran pada hambatan $25\Omega-0\Omega$

Pada grafik 4.6. dapat dilihat bahwa nilai dari putaran akan terus naik setiap diturunkan hambatannya, mulai dari hambatan 25Ω sampai diturunkan ke hambatan 0Ω . Sedangkan untuk nilai dari torsi disini, dapat kita lihat nilai torsi nya menurun setiap kita turunkan hambatannya. Baik diturunkan mulai hambatan $25\Omega - 0\Omega$, Hal ini sesuai dengan rumus torsi yaitu $T = P / (2 \times \pi \times rps)$ dimana apabila nilai dari putaran dinaikkan, untuk nilai dari torsi akan menurun.

4.4.2 Motor Berbeban

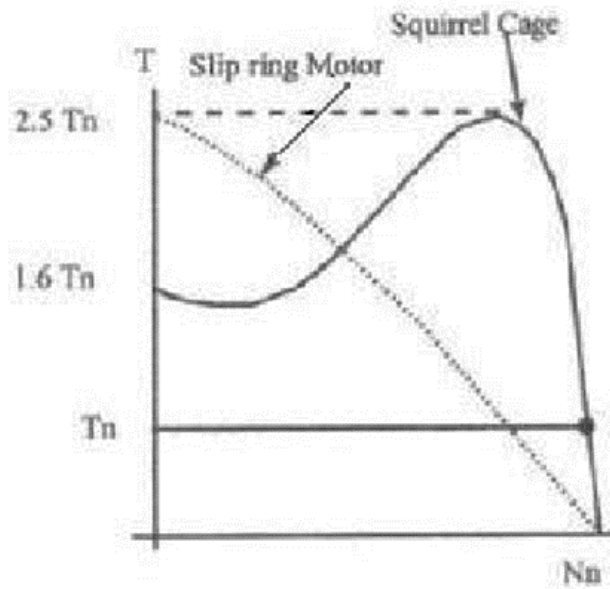
a). **Hubungan antara kecepatan motor dan torsi motor pada hambatan 25Ω**

Setelah dilakukannya percobaan maka selanjutnya dilakukan pembuatan grafik antara kecepatan motor pada saat beberapa variasi tahanan digunakan dengan torsi motor. Adapun grafik dari kecepatan motor dibandingkan dengan torsi motor dijelaskan pada grafik 4.7 sebagai berikut ini:



Grafik 4. 7 Hubungan putaran dengan torsi pada hambatan 25Ω

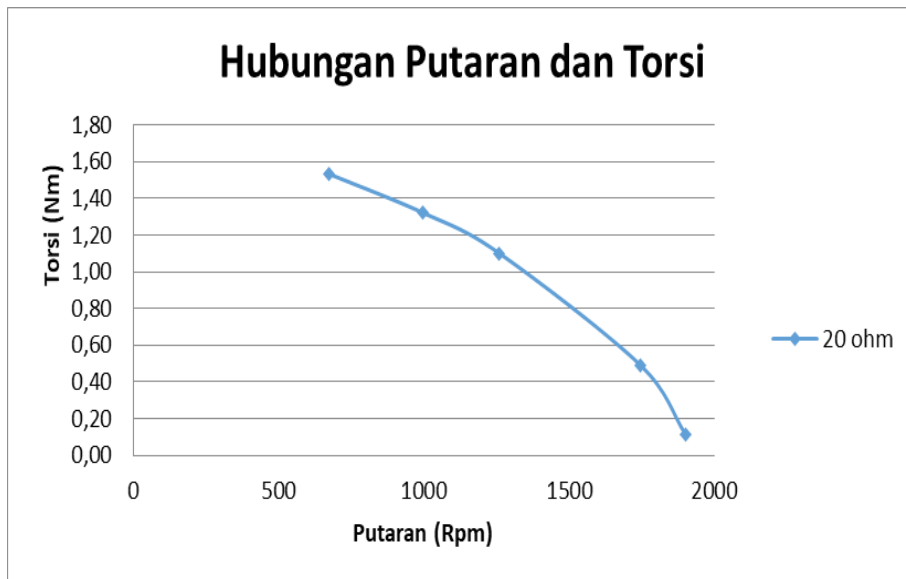
Grafik di atas menjelaskan tentang bagaimana hubungan antara kecepatan motor dengan torsi motor pada hambatan 25Ω. Dari gambar diatas terlihat bahwa semakin besar kecepatan motor maka torsi motor akan semakin kecil. Sehingga dapat dikatakan hubungan antara torsi motor dengan kecepatan berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan rumus torsi yaitu $T = P / (2 \times \pi \times rps)$ dimana apabila nilai dari putaran dinaikkan, untuk nilai dari torsi akan menurun. Grafik ini sebenarnya sama dengan grafik karakteristik torsi vs kecepatan SRM (Slip Ring Motor) yang dijadikan sebagai acuan seperti yang dijelaskan pada bab 2.



Grafik 4. 8 Torque versus speed SRM and SCM
(Sumber: International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering)

b). Hubungan antara kecepatan motor dan torsi motor pada hambatan 20Ω

Setelah dilakukannya percobaan maka selanjutnya dilakukan pembuatan grafik antara kecepatan motor pada saat beberapa variasi tahanan digunakan dengan torsi motor. Adapun grafik dari kecepatan motor dibandingkan dengan torsi motor dijelaskan pada grafik 4.9 sebagai berikut ini:

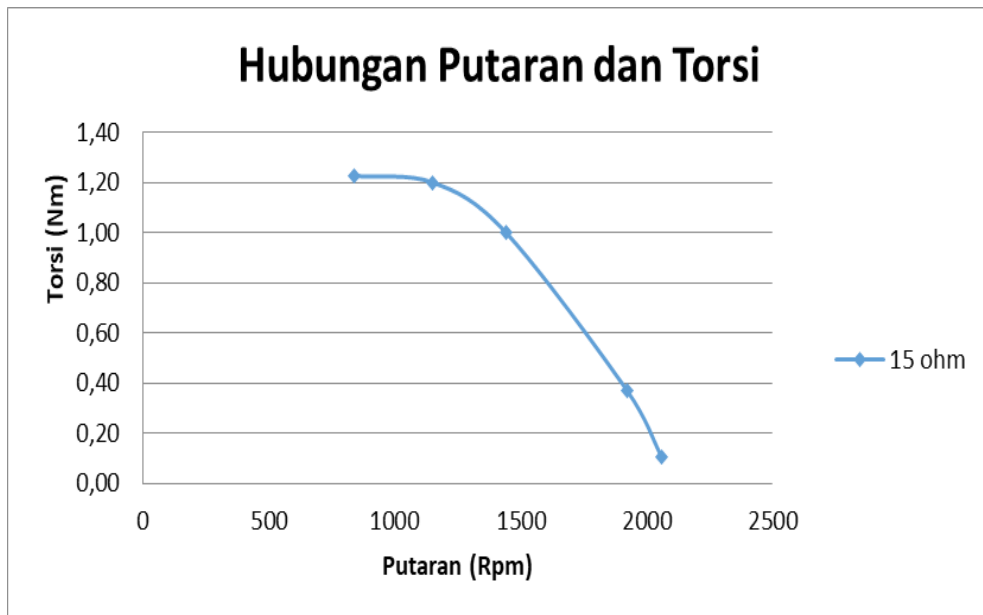


Grafik 4. 9 Hubungan putaran dengan torsi pada hambatan 20Ω

Grafik di atas menjelaskan tentang bagaimana hubungan antara kecepatan motor dengan torsi motor pada hambatan 20Ω. Dari gambar diatas terlihat bahwa semakin besar kecepatan motor maka torsi motor akan semakin kecil. Sehingga dapat dikatakan hubungan antara torsi motor dengan kecepatan berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan rumus torsi yaitu $T = P / (2 \times \pi \times rps)$ dimana apabila nilai dari putaran dinaikkan, untuk nilai dari torsi akan menurun.

c). Hubungan antara kecepatan motor dan torsi motor pada hambatan 15Ω

Setelah dilakukannya percobaan maka selanjutnya dilakukan pembuatan grafik antara kecepatan motor pada saat beberapa variasi tahanan digunakan dengan torsi motor. Adapun grafik dari kecepatan motor dibandingkan dengan torsi motor dijelaskan pada grafik 4.10 sebagai berikut ini:

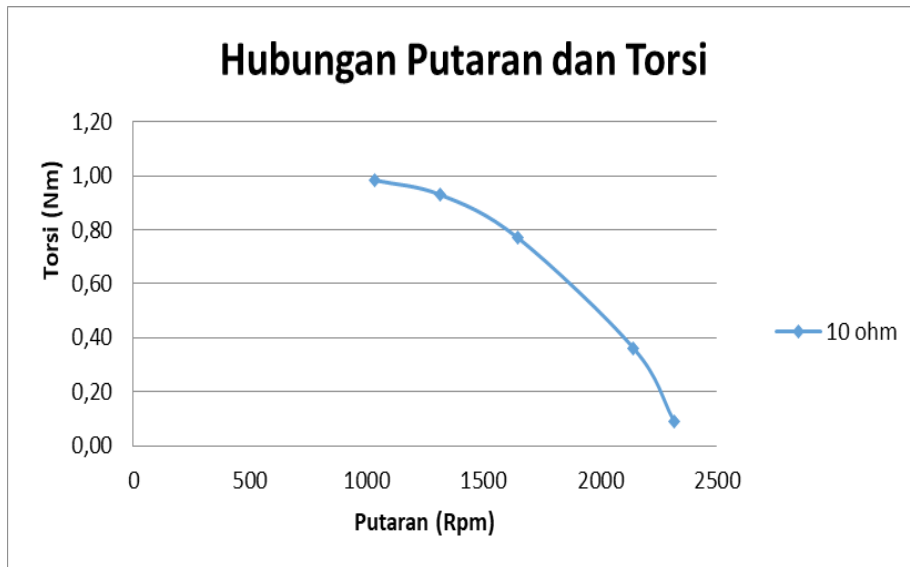


Grafik 4. 10 Hubungan putaran dengan torsi pada hambatan 15Ω

Grafik di atas menjelaskan tentang bagaimana hubungan antara kecepatan motor dengan torsi motor pada hambatan 15Ω. Dari gambar diatas terlihat bahwa semakin besar kecepatan motor maka torsi motor akan semakin kecil. Sehingga dapat dikatakan hubungan antara torsi motor dengan kecepatan berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan rumus torsi yaitu $T = P / (2 \times \pi \times rps)$ dimana apabila nilai dari putaran dinaikkan, untuk nilai dari torsi akan menurun.

d). Hubungan antara kecepatan motor dan torsi motor pada hambatan 10Ω

Setelah dilakukannya percobaan maka selanjutnya dilakukan pembuatan grafik antara kecepatan motor pada saat beberapa variasi tahanan digunakan dengan torsi motor. Adapun grafik dari kecepatan motor dibandingkan dengan torsi motor dijelaskan pada grafik 4.11 sebagai berikut ini:

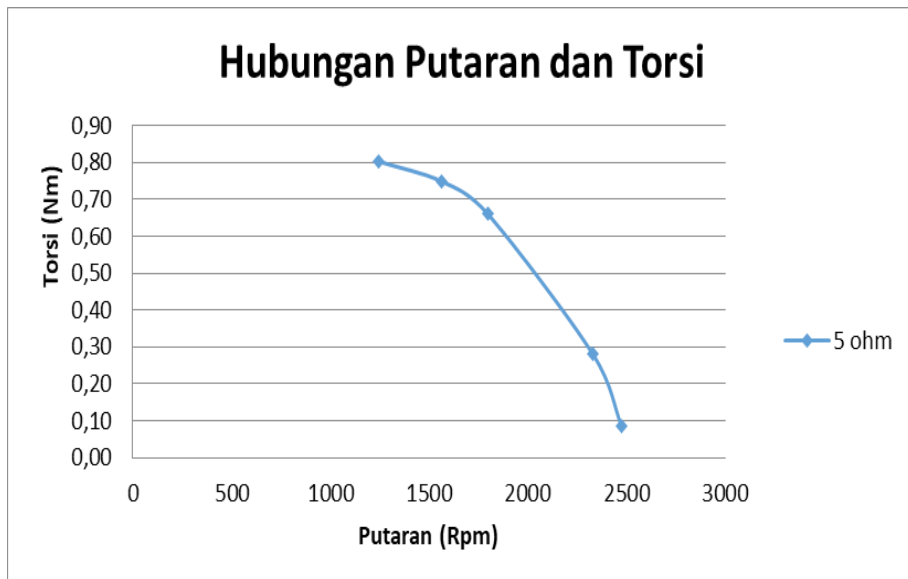


Grafik 4. 11 Hubungan putaran dengan torsi pada hambatan 10Ω

Grafik di atas menjelaskan tentang bagaimana hubungan antara kecepatan motor dengan torsi motor pada hambatan 10Ω. Dari gambar diatas terlihat bahwa semakin besar kecepatan motor maka torsi motor akan semakin kecil. Sehingga dapat dikatakan hubungan antara torsi motor dengan kecepatan berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan rumus torsi yaitu $T = P / (2 \times \pi \times rps)$ dimana apabila nilai dari putaran dinaikkan, untuk nilai dari torsi akan menurun.

e). Hubungan antara kecepatan motor dan torsi motor pada hambatan 5Ω

Setelah dilakukannya percobaan maka selanjutnya dilakukan pembuatan grafik antara kecepatan motor pada saat beberapa variasi tahanan digunakan dengan torsi motor. Adapun grafik dari kecepatan motor dibandingkan dengan torsi motor dijelaskan pada grafik 4.12 sebagai berikut ini:

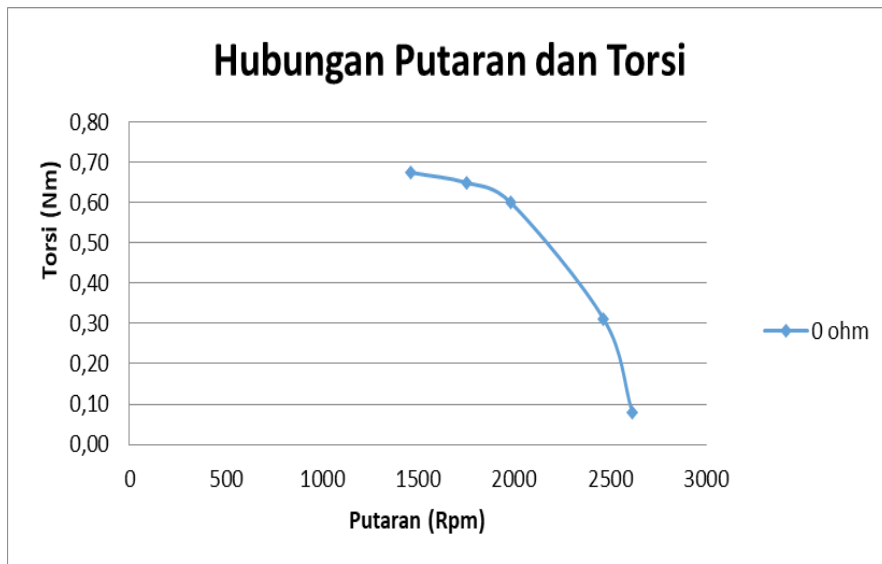


Grafik 4. 12 Hubungan putaran dengan torsi pada hambatan 5Ω

Grafik di atas menjelaskan tentang bagaimana hubungan antara kecepatan motor dengan torsi motor pada hambatan 5Ω. Dari gambar diatas terlihat bahwa semakin besar kecepatan motor maka torsi motor akan semakin kecil. Sehingga dapat dikatakan hubungan antara torsi motor dengan kecepatan berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan rumus torsi yaitu $T = P / (2 \times \pi \times rps)$ dimana apabila nilai dari putaran dinaikkan, untuk nilai dari torsi akan menurun.

f). Hubungan antara kecepatan motor dan torsi motor pada hambatan 0Ω

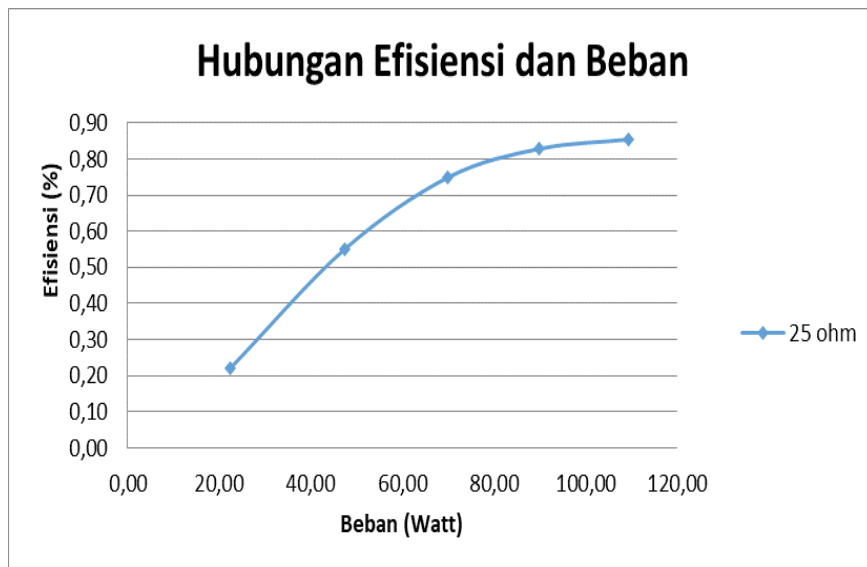
Setelah dilakukannya percobaan maka selanjutnya dilakukan pembuatan grafik antara kecepatan motor pada saat beberapa variasi tahanan digunakan dengan torsi motor. Adapun grafik dari kecepatan motor dibandingkan dengan torsi motor dijelaskan pada grafik 4.13 sebagai berikut ini:



Grafik 4. 13 Hubungan putaran dengan torsi pada hambatan 0Ω

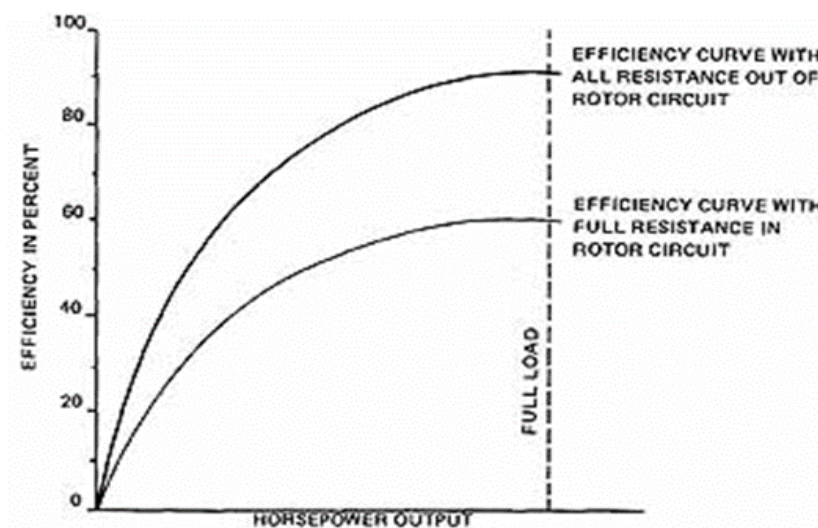
Grafik di atas menjelaskan tentang bagaimana hubungan antara kecepatan motor dengan torsi motor pada hambatan 0Ω . Dari gambar diatas terlihat bahwa semakin besar kecepatan motor maka torsi motor akan semakin kecil. Sehingga dapat dikatakan hubungan antara torsi motor dengan kecepatan berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan rumus torsi yaitu $T = P / (2 \times \pi \times rps)$ dimana apabila nilai dari putaran dinaikkan, untuk nilai dari torsi akan menurun.

a). Hubungan antara efisiensi motor dan beban motor pada hambatan 25Ω



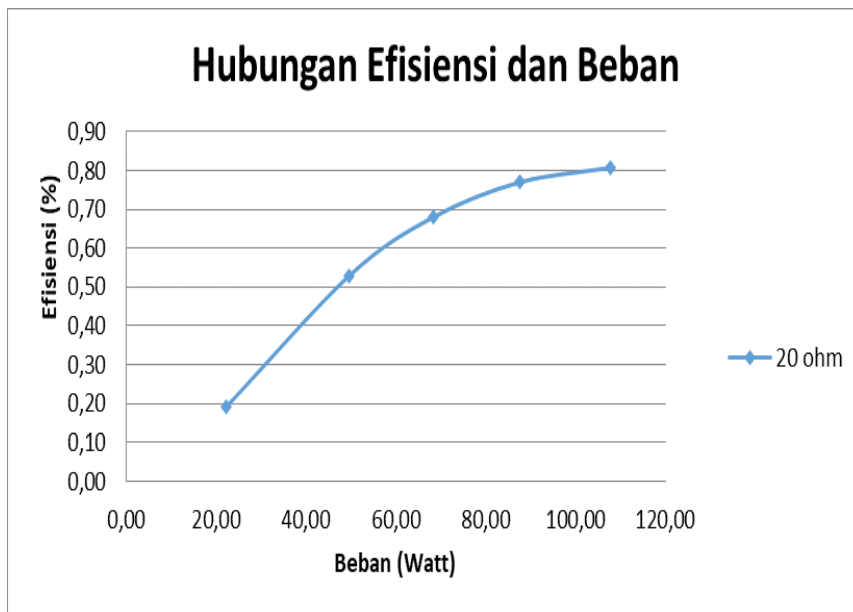
Grafik 4. 14 Hubungan efisiensi dengan beban pada hambatan 25Ω

Dari grafik diatas menunjukkan Efisiensi daya dihitung dengan cara membandingkan antara daya output dengan daya input. Gambar di bawah menggambarkan hubungan antara efisiensi daya terhadap beban untuk beberapa variasi tegangan. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar beban, efisiensi cenderung naik. Grafik ini sebenarnya sama dengan grafik efisiensi motor induksi wound rotor yang dijadikan sebagai acuan seperti yang dijelaskan pada bab 2.



Grafik 4. 15 Grafik Efisiensi motor induksi wound-rotor

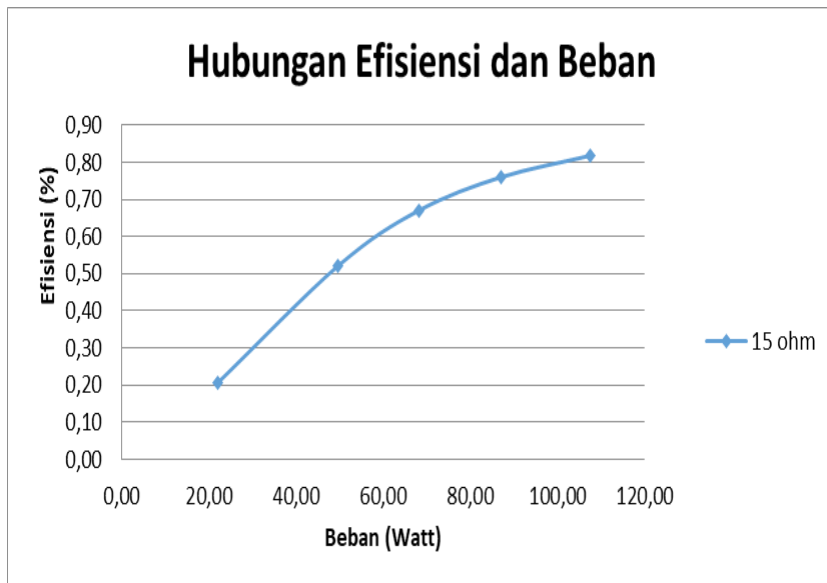
b). Hubungan antara efisiensi motor dan beban motor pada hambatan 20Ω



Grafik 4. 16 Hubungan efisiensi dengan beban pada hambatan 20Ω

Dari grafik diatas menunjukkan Efisiensi daya dihitung dengan cara membandingkan antara daya output dengan daya input. Gambar di bawah menggambarkan hubungan antara efisiensi daya terhadap beban untuk beberapa variasi tegangan. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar beban, efisiensi cenderung naik. Grafik ini sebenarnya sama dengan grafik efisiensi motor induksi wound rotor yang dijadikan sebagai acuan seperti yang dijelaskan pada bab 2.

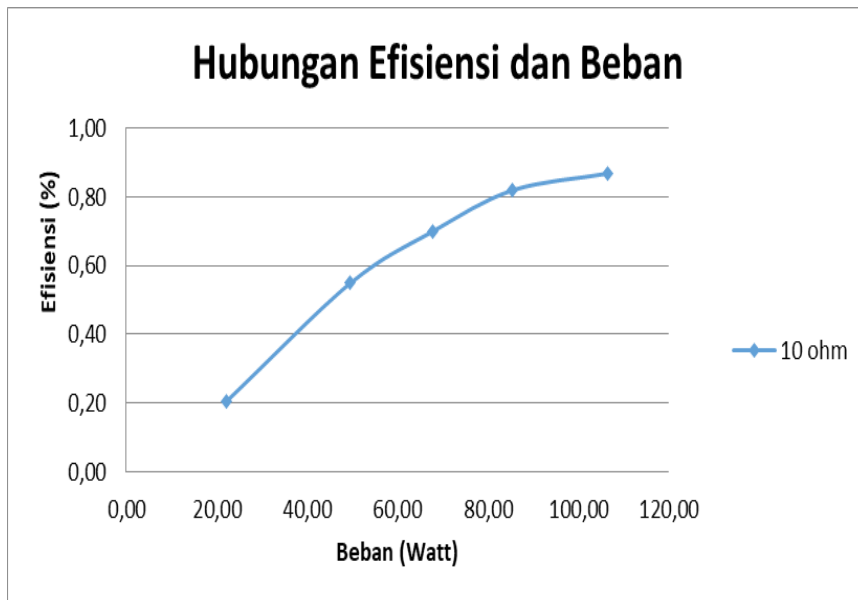
c). Hubungan antara efisiensi motor dan beban motor pada hambatan 15Ω



Grafik 4. 17 Hubungan efisiensi dengan beban pada hambatan 15Ω

Dari grafik diatas menunjukkan Efisiensi daya dihitung dengan cara membandingkan antara daya output dengan daya input. Gambar di bawah menggambarkan hubungan antara efisiensi daya terhadap beban untuk beberapa variasi tegangan. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar beban, efisiensi cenderung naik. Grafik ini sebenarnya sama dengan grafik efisiensi motor induksi wound rotor yang dijadikan sebagai acuan seperti yang dijelaskan pada bab 2.

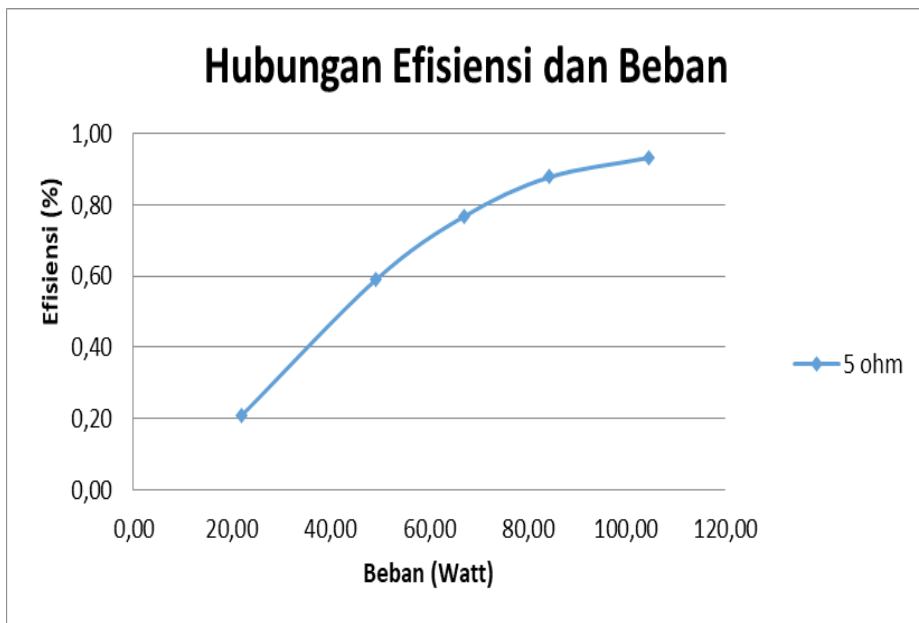
d). Hubungan antara efisiensi motor dan beban motor pada hambatan 10Ω



Grafik 4. 18 Hubungan efisiensi dengan beban pada hambatan 10Ω

Dari grafik diatas menunjukkan Efisiensi daya dihitung dengan cara membandingkan antara daya output dengan daya input. Gambar di bawah menggambarkan hubungan antara efisiensi daya terhadap beban untuk beberapa variasi tegangan. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar beban, efisiensi cenderung naik. Grafik ini sebenarnya sama dengan grafik efisiensi motor induksi wound rotor yang dijadikan sebagai acuan seperti yang dijelaskan pada bab 2.

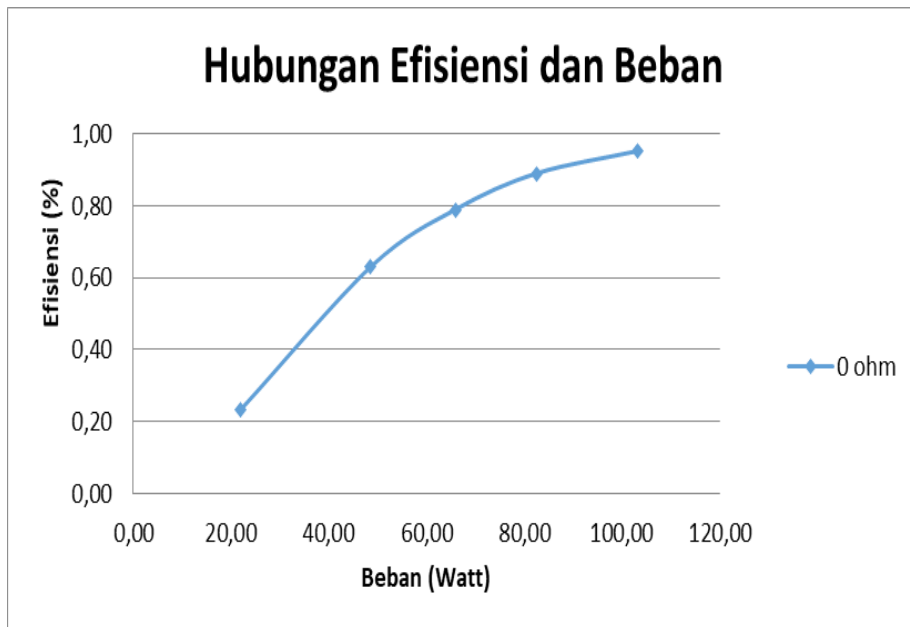
e). Hubungan antara efisiensi motor dan beban motor pada hambatan 5Ω



Grafik 4. 19 Hubungan efisiensi dengan beban pada hambatan 5Ω

Dari grafik diatas menunjukkan Efisiensi daya dihitung dengan cara membandingkan antara daya output dengan daya input. Gambar di bawah menggambarkan hubungan antara efisiensi daya terhadap beban untuk beberapa variasi tegangan. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar beban, efisiensi cenderung naik. Grafik ini sebenarnya sama dengan grafik efisiensi motor induksi wound rotor yang dijadikan sebagai acuan seperti yang dijelaskan pada bab 2.

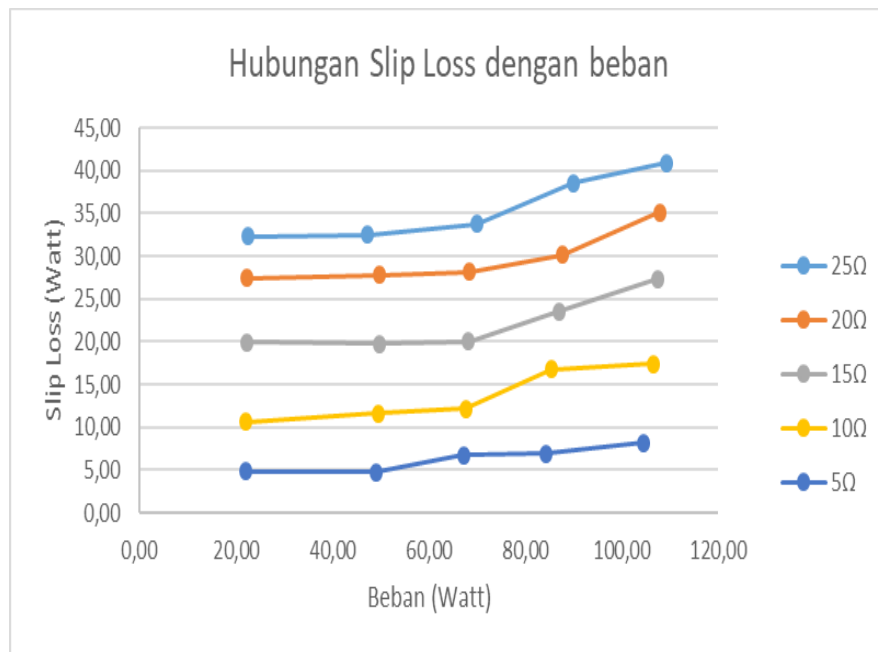
f). Hubungan antara efisiensi motor dan beban motor pada hambatan 0Ω



Grafik 4. 20 Hubungan efisiensi dengan beban pada hambatan 0Ω

Dari grafik diatas menunjukkan Efisiensi daya dihitung dengan cara membandingkan antara daya output dengan daya input. Gambar di bawah menggambarkan hubungan antara efisiensi daya terhadap beban untuk beberapa variasi tegangan. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar beban, efisiensi cenderung naik. Grafik ini sebenarnya sama dengan grafik efisiensi motor induksi wound rotor yang dijadikan sebagai acuan seperti yang dijelaskan pada bab 2.

a). Hubungan antara slip loss dan beban motor pada hambatan 25Ω - 5Ω



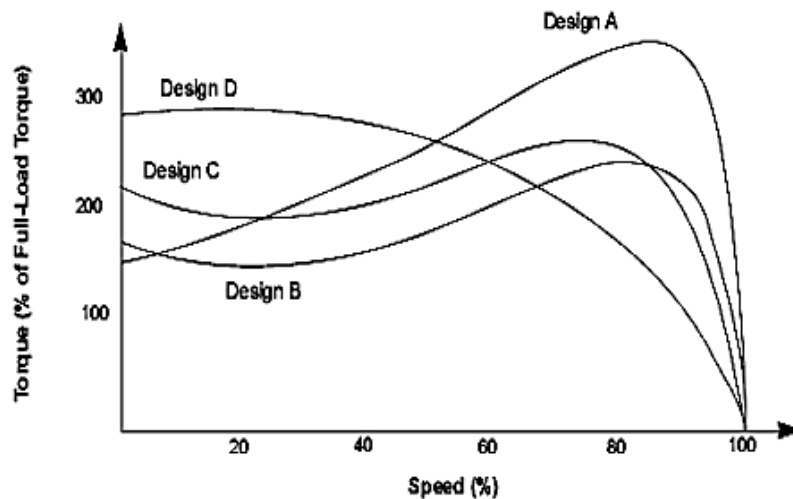
Grafik 4. 21 hubungan slip loss dengan beban

Sesuai dengan teori pada slip loss didapatkan bahwa slip loss berpengaruh terhadap pembebanan dan penambahan hambatan pada slipring. Pada pembebanan mulai dari 118 w - 128 w pada hambatan 25 ohm di ketahui sliploss tertinggi yaitu 40,9 w pada pembebanan maksimal. Semakin besar beban maka sliplossnya juga bertambah besar

4.5 Aplikasi Penggunaan Motor Asinkron 3 Fasa Rotor Belit

- Desain Motor Induksi Tiga Fasa

Standard NEMA pada dasarnya mengkategorikan motor induksi ke dalam empat kelas yakni desain A, B, C, dan D. Karakteristik torsi – kecepatannya dapat dilihat pada Gambar dibawah.



Grafik 4. 22 Karakteristik Torsi Kecepatan Motor Induksi pada Berbagai Desain

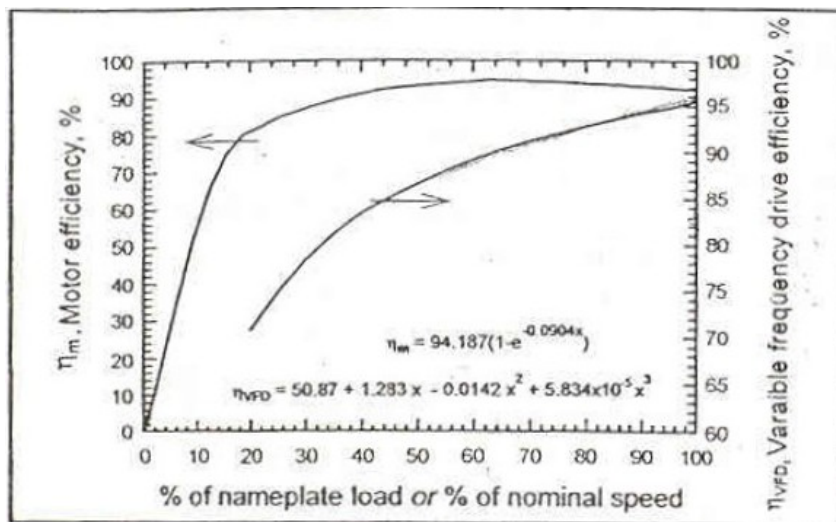
- Kelas A: desain ini memiliki torsi start normal (150 – 170%) dari nilai ratingnya) dan arus start relatif tinggi. Torsi break down nya merupakan yang paling tinggi dari semua desain NEMA. Motor ini mampu menangani beban lebih dalam jumlah besar selama waktu yang singkat. Slip $\leq 5\%$
- Kelas B: merupakan desain yang paling sering dijumpai di pasaran. Motor ini memiliki torsi start yang normal seperti halnya desain kelas A, akan tetapi motor ini memberikan arus start yang rendah. Torsi locked rotor cukup baik untuk menstart berbagai beban yang dijumpai dalam aplikasi industri. Slip motor ini $\leq 5\%$, efisiensi dan faktor dayanya pada saat berbeban penuh tinggi sehingga desain ini merupakan yang paling populer. Aplikasinya dapat dijumpai pada pompa, kipas angin, dan peralatan-peralatan mesin.
- Kelas C: memiliki torsi start lebih tinggi (200 % dari nilai ratingnya) dari dua desain yang sebelumnya. Aplikasinya dijumpai pada beban-beban seperti konveyor, mesin penghancur (crusher), kompresor, dll. Operasi dari motor ini mendekati kecepatan penuh tanpa overload dalam jumlah besar. Arus startnya rendah, slipnya $\leq 5\%$
- Kelas D: memiliki torsi start yang paling tinggi. Arus start dan kecepatan beban penuhnya rendah. Memiliki nilai slip yang tinggi (5 – 13 %),

Aplikasi :

Dari penjelasan diatas dapat kita ketahui bahwa motor asinkron 3 fase rotor belit sesuai dengan kelas D sehingga motor ini cocok untuk aplikasi dengan perubahan beban dan perubahan kecepatan secara mendadak pada motor. Contohnya pada penggunaan aplikasi di marine bisa digunakan pada, crane, hoists, pumps, Fans and Blowers.

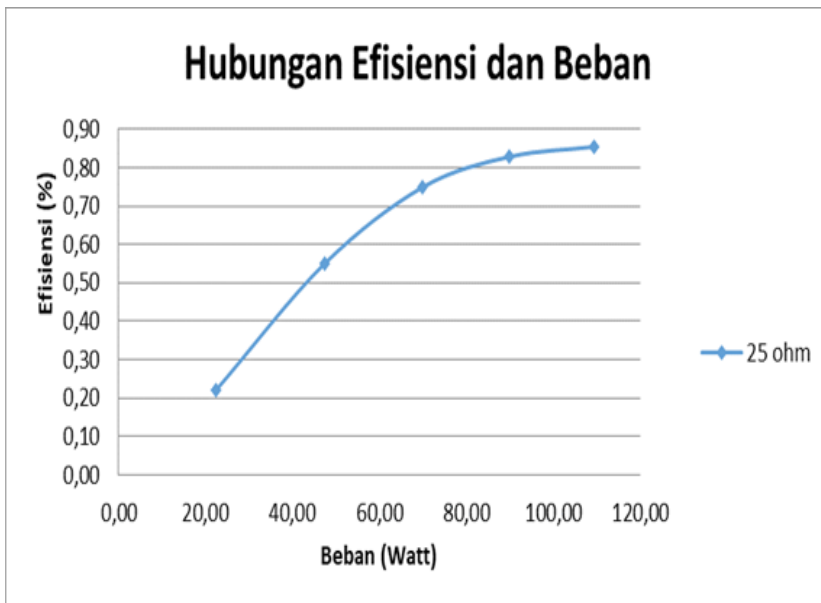
- Pada pompa, motor ini cocok untuk pompa sentrifugal karena karakteristiknya yang sama.

Dibawah ini merupakan Tipikal motor dan kurva efisiensi VSD (Variable Speed Drive) pada bagian pembebanan yang ditunjukkan di bawah ini ("Energi memompa dan variabel frekuensi Drives", Bernier dan Bourret, ASHRAE Journal, Desember 1999).



Grafik 4. 23 Motor and VSD Efficiency as a Function of Percent of Motor Nameplate Load (Source: "Pumping Energy and Variable Frequency Drives", Bernier and Bourret, ASHRAE Journal, December 1999)

Selanjutnya kita dapat membandingkan karakteristik hubungan efisiensi dengan beban pada pompa sentrifugal dengan karakteristik hubungan efisiensi dengan beban pada motor asinkron 3 fasa rotor belit yang kita amati seperti dibawah ini.



Grafik 4. 24 Hubungan efisiensi dengan beban pada hambatan 25Ω

Dari kedua karakteristik diatas antara karakteristik hubungan efisiensi dengan beban pada pompa sentrifugal dengan karakteristik hubungan efisiensi dengan beban pada motor asinkron 3 fasa rotor belit yang kita amati bisa kita simpulkan memiliki karakteristik yang sama, sehingga motor asinkron 3 fasa ini cocok digunakan pada pompa sentrifugal.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa performa motor DC Feedback Tipe No. 63 – 110 maka penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut ini:

1. Pada hasil percobaan nilai torsi maksimum yang didapatkan pada hambatan 25Ω adalah 2,08Nm didapatkan putaran motor 502 rpm, pada hambatan 20Ω torsi maksimumnya adalah 1,53Nm didapatkan putaran motor 673 rpm, pada hambatan 15Ω torsi maksimumnya adalah 1,23Nm didapatkan putaran motor 838 rpm, pada hambatan 10Ω torsi maksimumnya adalah 0,98Nm didapatkan putaran motor 1035 rpm, pada hambatan 5Ω torsi maksimumnya adalah 0,8Nm didapatkan putaran motor 1243 rpm, pada hambatan 0Ω torsi maksimumnya adalah 0,67Nm didapatkan putaran motor 1462 rpm.
2. Nilai beban maksimum yang didapatkan pada hambatan 25Ω adalah 109,31 watt dengan efisiensi sebesar 85%, pada hambatan 20Ω beban maksimumnya adalah 107,86 watt dengan efisiensi sebesar 81%, pada hambatan 15Ω beban maksimumnya adalah 107,58 watt dengan efisiensi sebesar 82%, pada hambatan 10Ω beban maksimumnya adalah 106,5 watt dengan efisiensi sebesar 87%, pada hambatan 5Ω beban maksimumnya adalah 104,62 watt dengan efisiensi sebesar 93%, dan terakhir pada hambatan 0Ω beban maksimumnya adalah 103,29 watt dengan efisiensi sebesar 95%. Terlihat bahwa semakin besar beban, efisiensi daya cenderung naik pada percobaan hubungan antara efisiensi terhadap pembebanan motor.
3. Dapat disimpulkan bahwa motor ini cocok untuk aplikasi dengan perubahan beban dan perubahan kecepatan secara mendadak pada motor. Sehingga aplikasinya cocok digunakan pada elevator, crane, ekstraktor, ball and sag mills, cranes, hoists, pumps, fans and blowers, chippers, conveyors.

5.2 Saran

1. Pada penelitian ini pengujian untuk motor berbeban dirasa masih kurang karena tidak menggunakan dynamometer sebagai variabel beban sehingga untuk pengaturan torsi tidak dapat diatur sesuai yang diinginkan. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan untuk pengujiannya menggunakan dynamometer.
2. Untuk penelitian selanjutnya bisa menambahkan osiloskop untuk melihat dan mengatur tegangan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

B.L Theraja, "A Textbook of Electrical Technology", S. Chand, New Delhi, 2005.

Kirtley, J. dan Ghai, N., Electric Motor Handbook, Mc-Graw-Hill, 2004.

FEEDBACK Torque / Speed Characteristics of an Asynchronous Motor – Slip Ring, Feedback Powerframes Laboratory Note number 243 : Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.

FEEDBACK Machines Loading System ETL 174-3, ETL174N Swinging Field Dynamometer : Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.

FEEDBACK Starting a Three Phase Asynchronous Motor with a Resistance Starter, Feedback Powerframes Laboratory Note number 140 : Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.

FEEDBACK Effect of Rotor Resistance on the Starting Torque of an Asynchronous Motor, Feedback Powerframes Laboratory Note number 142 : Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.

FEEDBACK Speed Control of a Three Phase Asynchronous Motor by Means of Rotor Resistance, Feedback Powerframes Laboratory Note number 141 : Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A

a. Percobaan Tanpa Beban

- Motor dengan hambatan $25\Omega - 21\Omega$

Resistance	Frek	Daya	η			
(Ω)	(Hz)	(Watt)				
25	50	58				
24	50	58				
23	50	58				
22	50	58				

Time	I phase (A)					
(A)	R	S				
0,258	0,302	0,302				
0,263	0,301	0,305				
0,271	0,301	0,305				
0,278	0,301	0,304				

- Motor dengan hambatan $20\Omega - 16\Omega$

Resistance	Frek	Daya	η			
(Ω)	(Hz)	(Watt)				
20	50	58				
19	50	58				
18	50	58				
17	50	58				

Time	I phase (A)					
(A)	R	S				
0,289	0,302	0,304				
0,295	0,302	0,304				
0,298	0,302	0,306				
0,301	0,303	0,306				

- Motor dengan hambatan $15\Omega - 11\Omega$

Resistance	Frek	Daya	γ			
(Ω)	(Hz)	(Watt)				
15	50	58				
14	50	58				
13	50	58				
12	50	58				

I line	I phase (A)					
(A)	R	S				
0,308	0,305	0,31				
0,306	0,302	0,309				
0,311	0,302	0,305				
0,314	0,306	0,308				

- Motor dengan hambatan $10\Omega - 6\Omega$

Resistance	Frek	Daya	γ			
(Ω)	(Hz)	(Watt)				
10	50	58				
9	50	58				
8	50	58				
7	50	58				

I line	I phase (A)					
(A)	R	S				
0,326	0,31	0,311				
0,331	0,308	0,308				
0,333	0,293	0,312				
0,337	0,301	0,307				

- Motor dengan hambatan $5\Omega - 0\Omega$

Resistance (Ω)	Frek (Hz)	Daya (Watt)	η			
5	50	58				
4	50	58				
3	50	58				
2	50	58				

Time (A)	I phase (A)					
	R	S				
0,345	0,303	0,307				
0,348	0,293	0,299				
0,352	0,291	0,295				
0,358	0,286	0,294				

b. Percobaan Berbeban

- Motor dengan hambatan 25Ω
 25Ω Pada Pembebanan

	P (Watt)	Cos ϕ	
20	22,43	0,51	
40	47,37	0,51	
60	70,00	0,51	

P _{in} (Watt)	Torsi (Nm)	Effien %	
102,0	0,13	0,22	
103,0	0,55	0,52	
110,0	1,43	0,72	

- 25Ω Pada Display

	Frek	Daya			
	(Hz)	(Watt)			
0	50	112			
20	50	116			
40	50	122			

- Motor dengan hambatan 20Ω
20Ω Pada Pembebanan

	P (Watt)	Cos	
20	22,27	0,5	
40	49,73	0,5	
60	68,33	0,5	

Pin	Torsi	Effier	
(Watt)	(Nm)	%	
115,9	0,11	0,1	
116,0	0,49	0,5	
116,7	1,10	0,6	

- 20Ω Pada Display

	Frek	Daya			
	(Hz)	(Watt)			
0	50	112			
20	50	116			
40	50	122			

- Motor dengan hambatan 15Ω
15 Ω Pada Pembebanan

	P {Watt}	Cos	
20	22,21	0,5	
40	49,72	0,5	
60	68,25	0,5	

Pin	Torsi	Effien	
{Watt}	{Nm}	%	
108,5	0,10	0,2	
109,0	0,37	0,5	
111,3	1,00	0,6	

- 15 Ω Pada Display

	Frek	Daya			
	{Hz}	{Watt}			
0	50	112			
20	50	116			
40	50	122			

- Motor dengan hambatan 10Ω
10 Ω Pada Pembebanan

	P {Watt}	Cos	
20	22,04	0,5	
40	49,51	0,5	
60	67,73	0,5	

Pin	Torsi	Effier	
{Wat}	{Nm}	%	
107,2	0,09	0,2	
108,0	0,36	0,5	
109,0	0,77	0,7	

- 10 Ω Pada Display

	Frek	Daya			
	(Hz)	{Wat}			
0	50	112			
20	50	116			
40	50	122			

- Motor dengan hambatan 5 Ω
5 Ω Pada Pembebanan

	P {Wat}	Ct	
20	22,03	0	
40	49,16	0	
60	67,18	0	

Pin	Torsi	Effier	
{Wat}	{Nm}	%	
105,6	0,09	0,	
106,0	0,28	0,	
110,0	0,66	0,	

- 5Ω Pada Display

	Frek	Daya			
	(Hz)	(Watt)			
0	50	112			
20	50	116			
40	50	122			

- Motor dengan hambatan 0Ω
0Ω Pada Pembebanan

	P (Watt)	Co	
20	21,84	0,	
40	48,58	0,	
60	66,03	0,	

Pin	Torsi	Effie	
(Watt)	(Nm)	%	
94,1	0,08	0,	
95,0	0,31	0,	
100,0	0,60	0,	

- 0Ω Pada Display

	Frek	Daya			
	(Hz)	(Watt)			
0	50	112			
20	50	116			
40	50	122			

c. Slip Loss

- Pada Hambatan 25Ω

Load	P	NS1				
{Watt}	{Watt}	{Rpm}	{}			
22,43	102,00	1662				
47,37	103,00	1519				
70,00	110,00	1060				
90,00	120,60	791				

- Pada Hambatan 20Ω

Load	P	NS1				
{Watt}	{Watt}	{Rpm}				
22,27	115,89	1902				
49,73	116,00	1746				
68,33	116,71	1259				

- Pada Hambatan 15Ω

Load	P	NS1				
{Watt}	{Watt}	{Rpm}				
22,21	108,49	2062				
49,72	109,00	1923				
68,25	111,25	1442				

- Pada Hambatan 10Ω

Load	P	NS1				
{Watt}	{Watt}	{Rpm}	{}			
22,04	107,18	2316				
49,51	108,00	2144				
67,73	109,00	1647				

- Pada Hambatan 5Ω

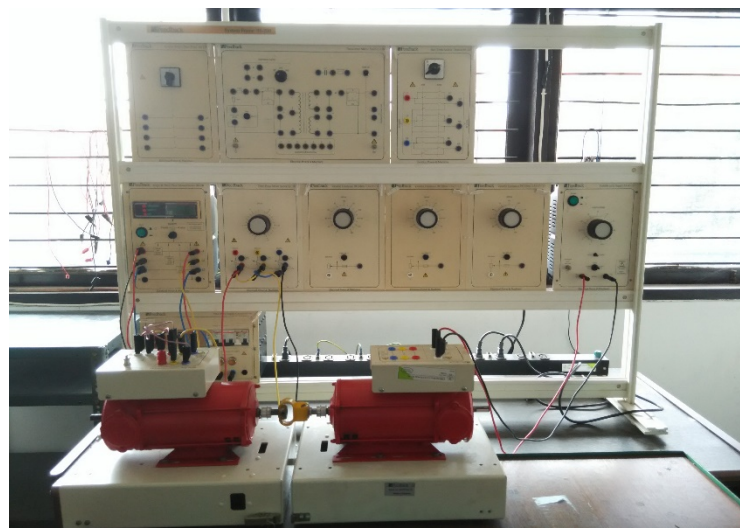
Load	P	NS1				
(Watt)	(Watt)	(Rpm)				
22,08	105,58	2476				
49,16	106,00	2330				
67,18	110,00	1799				

LAMPIRAN B

- Praktikum Motor tanpa beban



- Praktikum Motor Berbeban



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Pasuruan, 01 Desember 1994. Seorang anak kedua dari 2 bersaudara. Riwayat pendidikan berawal dari SDN Prigen 1 di tahun 2001, lalu melanjutkan ke jenjang SMPN 2 Pandaan pada tahun 2007 kemudian melanjutkan sekolah di SMAN 1 Pandaan pada tahun 2010 dengan jurusan yang ditempuh adalah Ilmu Pengetahuan Alam. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan S1 di departemen system perkapalan ITS pada tahun 2013. Untuk menyelesaikan pendidikan S1 ini penulis mengambil skripsi di bidang Marine Electrical and Automation System (MEAS). Dalam

mengerjakan tugas akhir bidang tersebut

merupakan minat penulis karena ingin mengetahui performa motor asinkron 3 fasa rotor belit yang nantinya dapat dijadikan sebagai acuan pemilihan motor di dunia maritime. Semasa perkuliahan penulis aktif di event-event dan berbagai kegiatan di jurusan.